



TUGAS AKHIR – MO.141326

**ANALISA BEBAN GELOMBANG PADA DINDING VERTIKAL
STRUKTUR PERPANJANGAN *JETTY* PLTGU GRATI**

PUSPA DEVITA MAHDIKA PUTRI

NRP. 4312100015

Dosen Pembimbing :

Suntoyo, S.T., M.Eng, Ph.D

Sholihin ST. MT.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



FINAL PROJECT – MO.141326

WAVE LOADS ANALYSIS ON VERTICAL WALL OF JETTY EXTENSION STRUCTURE OF PLTGU GRATI

PUSPA DEVITA MAHDIKA PUTRI

NRP. 4312100015

Supervisors :

Suntoyo, S.T., M.Eng, Ph.D

Sholihin ST. MT.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Marine Technology Faculty

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016

**ANALISA BEBAN GELOMBANG PADA DINDING VERTIKAL
STRUKTUR PERPANJANGAN JETTY PLTGU GRATI**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

PUSPA DEVITA MAHDIKA PUTRI

NRP. 4312 100 015

Disetujui oleh:

1. Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D.

(Pembimbing 1)

2. Sholihin ST., MT.

(Pembimbing 2)

3. Drs. Mahmud Mustain., M.Sc., Ph.D.

(Penguji 1)

4. Haryo Dwito Armono S.T., M.Eng., Ph.D

(Penguji 2)



SURABAYA, JULI 2016

ANALISA BEBAN GELOMBANG PADA DINDING VERTIKAL STRUKTUR PERPANJANGAN *JETTY* PLTGU GRATI

Nama Mahasiswa : Puspa Devita Mahdika Putri
NRP : 4312100015
Jurusan : Teknik Kelautan FTK-ITS
Dosen Pembimbing : Suntoyo, S.T., M.Eng, Ph.D
Sholihin ST. MT.

ABSTRAK

Jetty eksisting penahan sedimentasi di depan *water intake canal* Perusahaan Listrik dan Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Grati tidak mampu bekerja maksimal sehingga harus dilakukan pengerukan setiap tahun. Untuk itulah, dibangun struktur perpanjangan *jetty* baru agar sedimentasi di dekat kanal bisa berkurang. *Layout jetty* perpanjangan telah diteliti oleh Atikasari (2015). Karena *jetty* perpanjangan dibangun di kedalaman yang berbeda dengan kondisi eksisting, maka dilakukan analisa beban gelombang pada dinding vertikal struktur perpanjangan *jetty*. Dalam penelitian ini, analisa beban gelombang dilakukan dengan membandingkan dua metode yaitu metode Minikin dan Goda. Berdasarkan hasil analisa, metode Minikin menghasilkan gaya dan tekanan gelombang yang jauh lebih besar daripada Goda. Penulis menggunakan beberapa rekomendasi dari penelitian sebelumnya untuk menentukan metode perhitungan beban gelombang yang sesuai dengan kondisi di lokasi pembangunan struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati. Berdasarkan hasil analisa, struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati berada pada dasar laut yang bervariasi ($m \geq 0$) dan mengalami *overtopping*, sehingga metode Minikin lebih sesuai digunakan. Karakteristik gelombang yang mulai pecah tepat di depan struktur juga sesuai dengan asumsi Minikin. Selain itu, struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati termasuk bangunan *rigid* sehingga penggunaan metode Minikin lebih dianjurkan.

Kata Kunci : *jetty*, gelombang, Goda, Minikin, beban, gaya, tekanan, dinding

WAVE LOADS ANALYSIS ON VERTICAL WALL OF JETTY EXTENSION STRUCTURE OF PLTGU GRATI

Name of Student : Puspa Devita Mahdika Putri
Reg. Number : 4312100015
**Department : Department of Ocean Engineering, Marine Technology
Faculty, ITS**
**Supervisors : Suntoyo, S.T., M.Eng, Ph.D
Sholihin ST. MT.**

ABSTRACT

The existing sedimentation retaining jetty in front of the water intake canal of Perusahaan Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Grati is not able to work optimally, so the company must dredge that location every year. For that, a new jetty extension structure must be built to reduce sedimentation near the canal. The layout of jetty extension structure has been investigated by Atikasari (2015). Due to the extension of the jetty built at different depths with the existing condition, then the wave load analysis on vertical wall of new structure is needed. In this study, the wave load analysis is done by comparing the two methods by Minikin (1963) and Goda (1974). Based on this analysis, the Minikin method generate larger value of wave loads than Goda. The author uses some of the recommendations from previous studies to determine the method of calculation of wave loads according to conditions at the jetty extension construction site of PLTGU Grati. Based on this analysis, the structure of jetty extension of PLTGU Grati is built at varying seabed ($m \geq 0$) and overtopping is occurred, so the Minikin method more suitable. Characteristics of the wave that starts to break directly in front of the structure is also consistent with the Minikin's assumption. In addition, the jetty extension structure of PLTGU Grati is a rigid construction, so that the use of Minikin method more recommended.

Keywords : jetty, wave, Goda, Minikin, load, pressure, force, wall

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar. Sholawat serta salam juga penulis haturkan kepada junjungan seluruh umat manusia Rasulullah Muhammad SAW.

Tugas Akhir ini berjudul “ANALISA BEBAN GELOMBANG PADA DINDING VERTIKAL STRUKTUR PERPANJANGAN *JETTY* PLTGU GRATI”. Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas Akhir ini membahas tentang analisa beban gelombang yang mengenai dinding vertikal struktur perpanjangan jetty PLTGU Grati sehingga dapat dijadikan dasar untuk analisa kekuatan struktur dan pemilihan material yang sesuai .

Saya menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga saya sangat mengharapkan kritik dan saran dari pihak lain. Akhir kata saya berharap penelitian ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan serta bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, 2016

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran dalam pengerjaan Tugas Akhir hingga selesainya Tugas Akhir ini . Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayah dan Ibu yang tak kenal lelah mendoakan dan memberikan dukungan saya. Tugas Akhir ini saya persembahkan khusus untuk kedua orang tua saya.
2. Adik saya Syifa Salsabila M.P, Novaldi Athallah M.P, dan Janneta A.P yang selalu memberikan dorongan kepada saya untuk selalu bersemangat menghadapi masa depan.
3. Bapak Suntoyo S.T, M.Eng, Ph.D selaku dosen pembimbing I saya sekaligus dosen wali saya dan Bapak Sholihin ST., M.T selaku dosen pembimbing II saya dalam Tugas Akhir. Tidak lupa kepada bapak Herman Pratikno, S.T, M.T, Ph.D. Yang telah membantu saya dalam proses pelaksanaan sidang Tugas Akhir. Terima kasih atas bimbingan, ilmu serta dukungan kepada saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Kelautan ITS yang telah memberikan ilmu, bantuan dan fasilitas kepada saya selama menjalani perkuliahan.
5. Seluruh Alumni Teknik Kelautan terutama Titis Julaiikha Atikasari (L-30), Mbak Happy Ayu (L-27), Mas Harris Fattah (L-28) dan Mas Aldhiansyah (L-29) yang telah membantu dan memotivasi saya selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Rekan saya Minati Pebriantina (L-30), Cahyaningtyas (L-30), Listia Budiarti (L-30), Muhammad Auliya Aldi (L-30), Mas Domas W (L-27), Mas Firman Faqih Nosa (Alumni Teknik Industri ITS), dan seluruh rekan ITS Media Center yang telah mendoakan, memotivasi dan membantu saya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

Serta semua pihak yang telah membantu namun tidak bisa saya sebutkan satu-persatu. Terima kasih atas bantuan, motivasi dan doanya sehingga saya mampu maju hingga sejauh ini dan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semoga Allah melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua. Aamiin.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SIMBOL	xvi
DAFTAR ISTILAH	xix
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	 7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 <i>Jetty</i>	8
2.2.2 Pasang Surut	11
2.2.3 Gelombang.....	13
2.2.4 Gelombang Kala Ulang	14
2.2.4.1 Distribusi Prediksi Gelombang.....	14
2.2.4.2 Periode Ulang Gelombang	15
2.2.5 Teori Gelombang.....	16
2.2.5.1 Teori Gelombang Airy.....	16
2.2.5.2 Teori Gelombang Stokes	18
2.2.5.3 Teori Gelombang Knoidal	18

2.2.5.4	Teori Gelombang Tunggal.....	19
2.2.6	Deformasi Gelombang.....	19
2.2.6.1	Gelombang Laut Dalam Ekvivalen.....	19
2.2.6.2	Refraksi Gelombang	19
2.2.6.3	Difraksi Gelombang.....	20
2.2.6.4	Refleksi Gelombang (Dinding Vertikal <i>Impermeable</i>)	22
2.2.6.5	Gelombang Pecah	23
2.2.6.6	Gelombang Pecah Rencana	24
2.2.7	Fluktuasi Muka Air Laut	24
2.2.7.1	<i>Wave Run Up</i>	24
2.2.7.2	Kenaikan Muka Air Karena Gelombang (<i>Wave Set Up</i>).....	25
2.2.7.3	<i>Overtopping</i>	27
2.2.7.4	Debit <i>Overtopping</i> yang Diizinkan.....	27
2.2.8	Beban Gelombang	28
2.2.8.1	Perhitungan Beban Gelombang Metode Minikin (1963)	28
2.2.8.2	Perhitungan Beban Gelombang Metode Goda (1974).....	31
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1	Diagram Alir.....	37
3.2	Penjelasan Diagram Alir.....	38
3.2.1	Studi Literatur.....	38
3.2.2	Pengumpulan Data.....	38
3.2.3	Analisa Karakteristik Gelombang	38
3.2.3.1	Perhitungan Gelombang Kala Ulang 50 Tahun.....	39
3.2.3.2	Penentuan Teori Gelombang yang Sesuai	39
3.2.3.3	Analisa Refraksi.....	40
3.2.3.4	Perhitungan Tinggi dan Kedalaman Gelombang Pecah	41
3.2.3.5	Perhitungan <i>Wave Set Down</i> dan <i>Wave Set Up</i>	42
3.2.3.6	Analisa <i>Wave Run Up</i>	42
3.2.3.7	Perhitungan Volume <i>Overtopping</i>	43
3.2.4	Perhitungan Beban Gelombang.....	45
3.2.4.1	Perhitungan Beban Gelombang Metode Minikin (1963)	46
3.2.4.2	Perhitungan Beban Gelombang Metode Goda (1974).....	47
3.2.5	Pemilihan Metode Perhitungan Beban Gelombang yang Sesuai	49

3.2.6 Kesimpulan.....	49
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	51
4.1 Lokasi Studi	51
4.2 Peta Batimetri	52
4.3 Data Pasang Surut.....	52
4.4 Data Gelombang	53
4.5 Karakteristik Gelombang.....	53
4.5.1 Teori Gelombang yang Sesuai	53
4.5.2 Hasil Perhitungan Gelombang Kala Ulang 50 Tahun	54
4.5.3 Hasil Analisa Refraksi	55
4.5.4 Hasil Analisa Gelombang Pecah Sebelum Pembangunan Struktur	57
4.5.5 Hasil Perhitungan <i>Wave Set Down</i> dan <i>Wave Set Up</i>	61
4.6 Hasil Analisa <i>Wave Run Up</i>	61
4.7 Hasil Perhitungan Volume <i>Overtopping</i>	64
4.8 Hasil Perhitungan Beban Gelombang.....	66
4.8.1 Perhitungan Beban Gelombang dengan Metode Minikin (1963)	66
4.8.2 Perhitungan Beban Gelombang dengan Metode Goda (1974)	69
4.8.3 Perbandingan Metode Minikin dan Goda.....	73
4.8.4 Penentuan Metode Perhitungan Gelombang yang Sesuai	74
4.8.5 Variasi Pengecilan Beban Gelombang pada Struktur <i>Jetty</i>	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	
LAMPIRAN C	
LAMPIRAN D	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>Jetty PLTGU Grati</i>	2
Gambar 1.2 Desain Alternatif <i>Jetty</i> PLTGU Grati.....	3
Gambar 2.1 Pengaruh <i>Jetty</i> Terhadap Pantai di Sekitarnya.....	9
Gambar 2.2 Beberapa Tipe <i>Jetty</i>	9
Gambar 2.3 Perambatan Arah Gelombang Akibat Refraksi	20
Gambar 2.4 Difraksi Gelombang di Belakang Rintangan	21
Gambar 2.5 Geometri Gelombang Pecah.....	24
Gambar 2.6 Sketsa Definisi <i>Run Up</i>	25
Gambar 2.7 <i>Wave set-up</i> dan <i>Wave Set-Down</i>	26
Gambar 2.8 Diagram Distribusi Tekanan Minikin	30
Gambar 2.9 Tekanan Gelombang dan Gaya Gelombang Dinamik, Metode Minikin.	30
Gambar 2.10 Tekanan Gelombang dan Gaya Gelombang, Metode Goda.....	32
Gambar 2.11 Gambaran Sudut β	34
Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir	37
Gambar 3.2 Daerah Penerapan Fungsi Gelombang H/d dan d/L	40
Gambar 3.3 Pembagian Segmen Struktur Perpanjangan <i>Jetty</i> PLTGU Grati.....	40
Gambar 3.4 Kurva Perhitungan Tinggi Gelombang Pecah.....	41
Gambar 3.5 Kurva Perhitungan Kedalaman Gelombang Pecah	42
Gambar 3.6 Kurva Perhitungan <i>Run Up</i> untuk Dinding Vertikal.....	43
Gambar 3.7 Nilai <i>Overtopping</i> Dinding Vertikal untuk $H'o/Lo = 0,012$ dan $m=0,03$	43
Gambar 3.8 Nilai <i>Overtopping</i> Dinding Vertikal untuk $H'o/Lo = 0,017$ dan $m=0,0$	44
Gambar 3.9 Nilai <i>Overtopping</i> Dinding Vertikal untuk $H'o/Lo = 0,036$ dan $m=0,03$	44
Gambar 3.10 Nilai <i>Overtopping</i> Dinding Vertikal untuk $H'o/Lo = 0,012$ dan $m=0,01$	44
Gambar 3.11 Nilai <i>Overtopping</i> Dinding Vertikal untuk $H'o/Lo = 0,017$ dan $m=0,01$	45
Gambar 3.12 Nilai <i>Overtopping</i> Dinding Vertikal untuk $H'o/Lo = 0,036$ dan $m=0,01$	45
Gambar 3.13 Kurva Hubungan Antara d_s/gT^2 dan H_b/d_s	46
Gambar 3.14 Diagram Perhitungan untuk Parameter α_1	47
Gambar 3.15 Diagram Perhitungan untuk Faktor $1/\cosh(2\pi H/L)$	48
Gambar 3.16 Dimensi Variasi Gaya Gelombang dengan Kemiringan Dasar Laut untuk $d/h = 1$, Metode Goda	48

Gambar 3.17 Dimensi Gaya Gelombang dengan variasi d_s/D , Metode Goda: (a) $m = 0,02$; (b) $m = 0,04$	49
Gambar 4.1 Lokasi Studi.....	51
Gambar 4.2 Peta Batimetri PLTGU Grati.....	52
Gambar 4.3 Daerah Penerapan Teori Gelombang PLTGU Grati	54
Gambar 4.4 Arah Gelombang Datang pada Segmen A yang Telah Mengalami Refraksi	56
Gambar 4.5 Arah Gelombang Datang pada Segmen B yang Telah Mengalami Refraksi	56
Gambar 4.6 Arah Gelombang Datang pada Segmen C yang Telah Mengalami Refraksi	56
Gambar 4.7 Grafik Tinggi Gelombang Pecah untuk Pias 1	58
Gambar 4.8 Grafik Tinggi Gelombang Pecah untuk Pias 2 dan 3	58
Gambar 4.9 Grafik Kedalaman Maksimum Gelombang Pecah untuk Pias 1	59
Gambar 4.10 Grafik Kedalaman Minimum Gelombang Pecah untuk Pias 1	59
Gambar 4.11 Grafik Kedalaman Maksimum Gelombang Pecah untuk Pias 2 dan 3	60
Gambar 4.12 Grafik Kedalaman Minimum Gelombang Pecah untuk Pias 2 dan 3	60
Gambar 4.13 Grafik Perhitungan R/H_0 untuk $H_0/gT^2 = 0,003$ dan $d_s/H_0 = 1,5$	62
Gambar 4.14 Grafik Perhitungan R/H_0 untuk $H_0/gT^2 = 0,003$ dan $d_s/H_0 = 3$	62
Gambar 4.15 Grafik Perhitungan R/H_0 untuk $H_0/gT^2 = 0,004$ dan $d_s/H_0 = 1,5$	63
Gambar 4.16 Grafik Perhitungan R/H_0 untuk $H_0/gT^2 = 0,004$ dan $d_s/H_0 = 3$	63
Gambar 4.17 Volume Overtopping Segmen B untuk $H'_o/L_o = 0,017$ dan $m = 0,03$	64
Gambar 4.18 Volume Overtopping Segmen B untuk $H'_o/L_o = 0,036$ dan $m = 0,03$	65
Gambar 4.19 Volume Overtopping Segmen C untuk $H'_o/L_o = 0,017$ dan $m = 0,03$	65
Gambar 4.20 Volume Overtopping Segmen C untuk $H'_o/L_o = 0,036$ dan $m = 0,03$	65
Gambar 4.21 Grafik Hubungan h_s/gT^2 dan H_b/h_s Jetty Segmen A.....	66
Gambar 4.22 Grafik Hubungan h_s/gT^2 dan H_b/h_s Jetty Segmen B	67
Gambar 4.23 Grafik Hubungan h_s/gT^2 dan H_b/h_s Jetty Segmen C	67
Gambar 4.24 Nilai α_I untuk Jetty Segmen A	70
Gambar 4.25 Nilai α_I untuk Jetty Segmen B dan C	70
Gambar 4.26 Grafik Hubungan h/L_o dan $3F/wH_b^2$ pada Jetty Segmen A.....	72
Gambar 4.27 Grafik Hubungan h/L_o dan $3F/wH_b^2$ saat $m = 0,02$	72
Gambar 4.28 Grafik Hubungan h/L_o dan $3F/wH_b^2$ saat $m = 0,04$	72

Gambar 4.29 Distribusi Beban Gelombang pada Struktur <i>Rubble Mound</i>	75
Gambar 4.30 Grafik Hubungan h_s/gT^2 dan H_b/h_s Struktur Modifikasi <i>Jetty Rubble Mound</i> Segmen A untuk Semua Variasi D_s	76
Gambar 4.31 Grafik Hubungan h_s/gT^2 dan H_b/h_s Struktur Modifikasi <i>Jetty Rubble Mound</i> Segmen B dan C untuk $D_s=1/4 h_s$	76
Gambar 4.32 Grafik Hubungan h_s/gT^2 dan H_b/h_s Struktur Modifikasi <i>Jetty Rubble Mound</i> Segmen B dan C untuk $D_s=2/4 h_s$	77
Gambar 4.33 Grafik Hubungan h_s/gT^2 dan H_b/h_s Struktur Modifikasi <i>Jetty Rubble Mound</i> Segmen B dan C untuk $D_s=3/4 h_s$	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi Struktur Pantai	10
Tabel 2.2. Koefisien Difraksi Gelombang	22
Tabel 2.3. Batas Tingkat Kerusakan Akibat <i>Overtopping</i>	27
Tabel 2.4. Debit <i>Overtopping</i> yang Diizinkan Berdasarkan Tingkat Kepentingan Daerah yang Dilindungi.....	28
Tabel 2.5. Debit <i>Overtopping</i> yang Diizinkan untuk Pejalan Kaki	28
Tabel 2.6. Debit <i>Overtopping</i> yang Diizinkan untuk Struktur yang Dilewati Kendaraan.....	28
Tabel 2.7. Koefisien Pendekatan Estimasi Tinggi Gelombang pada <i>Surfzone</i>	34
Tabel 3.1. Koefisien untuk Menghitung Deviasi Standar	39
Tabel 4.1. Nilai d/L untuk Pertambahan Nilai d/L_o	53
Tabel 4.2. Tinggi Gelombang Signifikan 2004-2014	54
Tabel 4.3. Tinggi dan Periode Gelombang dengan Kala Ulang	55
Tabel 4.4. Tinggi Gelombang Pecah untuk Masing-masing Pias	57
Tabel 4.5. Kedalaman Gelombang Pecah untuk Masing-masing Pias.....	57
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan <i>Wave Set Down</i>	61
Tabel 4.7. Hasil Perhitungan <i>Wave Set Up</i>	61
Tabel 4.8. Hasil Perhitungan <i>Wave Run Up</i> Gelombang Struktur Perpanjangan <i>Jetty</i> PLTGU Grati	61
Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Volume <i>Overtopping</i> Struktur Perpanjangan <i>Jetty</i> PLTGU Grati.....	64
Tabel 4.10. Hasil Perhitungan L_{hs} dan D untuk Setiap Segmen Struktur Perpanjangan <i>Jetty</i> PLTGU Grati	68
Tabel 4.11. Hasil Perhitungan L_D untuk Setiap Segmen Struktur Perpanjangan <i>Jetty</i> PLTGU Grati	68
Tabel 4.12. Hasil Perhitungan H_b untuk Setiap Segmen Struktur Perpanjangan <i>Jetty</i> PLTGU Grati	68
Tabel 4.13. Hasil Perhitungan Tekanan Gelombang Total untuk Setiap Segmen Struktur Perpanjangan <i>Jetty</i> PLTGU Grati.....	68
Tabel 4.14. Hasil Perhitungan Gaya Gelombang Total untuk Setiap Segmen Struktur Perpanjangan <i>Jetty</i> PLTGU Grati.....	68

Tabel 4.15. Hasil Perhitungan H_{max} dan h_b untuk Setiap Segmen Struktur Perpanjangan <i>Jetty</i> PLTGU Grati.....	69
Tabel 4.16. Hasil Perhitungan H_{max} dan h_b untuk Setiap Segmen Struktur Perpanjangan <i>Jetty</i> PLTGU Grati.....	69
Tabel 4.17. Hasil Perhitungan Tekanan Gelombang Total untuk Setiap Segmen Struktur Perpanjangan <i>Jetty</i> PLTGU Grati.....	71
Tabel 4.18. Hasil Perhitungan Gaya Gelombang untuk Setiap Segmen Struktur Perpanjangan <i>Jetty</i> PLTGU Grati.....	71
Tabel 4.19. Perbedaan Karakteristik Metode Minikin dan Goda.....	73
Tabel 4.20. Perbandingan Hasil Perhitungan Gaya Gelombang Metode Minikin dan Goda	74

DAFTAR SIMBOL

A	= titik yang ditinjau di belakang rintangan
A	= parameter skala
B	= parameter lokasi
C	= cepat rambat gelombang (m/s)
C_0	= cepat rambat gelombang di laut dalam (m)
D	= kedalaman yang diukur pada jarak 1 panjang gelombang pada kedalaman h_s (m)
d	= kedalaman air (m)
d_b	= kedalaman gelombang pecah (m)
d_s	= kedalaman struktur pantai (m),
g	= percepatan gravitasi (m/s^2)
H_0	= tinggi gelombang ekuivalen (m)
H_0	= tinggi gelombang laut dalam (m)
h_s	= kedalaman air di struktur yang diukur dari SWL ke dasar dinding vertikal (m)
h_b	= kedalaman pada lokasi $5H_s$ di depan struktur (m)
H_b	= tinggi gelombang pecah (m)
H_{max}	= tinggi gelombang maksimum (m)
H_s	= tinggi gelombang representatif (m)
\hat{H}_s	= tinggi gelombang dengan nilai tertentu (m)
H_{sm}	= tinggi gelombang urutan ke- m (m)
H_{sr}	= tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_r (m)
$H_{1/3}$	= tinggi gelombang signifikan (m)
$H_{1/10}$	= tinggi gelombang sepersepuluh, didapatkan dari rata – rata 10 tinggi gelombang hasil pengukuran yang nilainya paling besar (m)
\bar{H}	= tinggi gelombang rata-rata (m)
k	= parameter bentuk (lihat Tabel 2.2)
K	= panjang data (tahun)
K_r	= koefisien refraksi
K'	= untuk $\theta, \beta, r / L$ tertentu diberikan dalam Tabel 2.3.

L	= rerata jumlah kejadian per tahun = $\frac{N_T}{K}$
L	= panjang gelombang (m)
L_0	= panjang gelombang di laut dalam (m)
L_D	= panjang gelombang pada kedalaman D (m)
L_{hs}	= panjang gelombang di kedalaman h_s (m)
m	= kemiringan dasar laut (<i>slope</i>)
m	= nomor urut tinggi gelombang signifikan = $1, 2, \dots, N$
N_T	= jumlah kejadian gelombang selama pencatatan
P	= ujung pemecah gelombang
$P(H_s \leq \hat{H}_s)$	= probabilitas bahwa \hat{H}_s tidak dilampaui
$P(H_s \leq H_{sm})$	= probabilitas dari tinggi gelombang representatif ke m yang tidak dilampaui
P_m	= tekanan maksimum di SWL (kN/m ²)
P_u	= tekanan uplift dari kaki bangunan terhadap dinding vertikal (kN/m ²)
P_1	= tekanan gelombang di SWL (kN/m ²)
P_2	= tekanan gelombang di dasar struktur (untuk struktur yang memiliki kaki) (kN/m ²)
P_3	= tekanan gelombang di dasar dinding vertikal (kN/m ²)
P_4	= tekanan gelombang di bagian paling atas dinding vertikal (kN/m ²)
q	= debit <i>overtopping</i> (m ³ /m/s)
R	= tinggi runup di atas SWL (m)
R_m	= gaya horizontal dinamik metode Minikin (kN),
R_t	= gaya horizontal total metode Minikin (kN),
S_b	= <i>set-down</i> di daerah gelombang pecah (m),
S_w	= <i>set-up</i> di daerah gelombang pecah (m)
T_{max}	= periode gelombang maksimum (s)
T_r	= periode ulang (tahun)
$T_{1/3}$	= periode gelombang signifikan (s)
$T_{1/10}$	= periode gelombang sepersepuluh, didapatkan dari rata – rata 10 periode gelombang hasil pengukuran yang nilainya paling besar (s)
\bar{T}	= periode gelombang rata-rata (s)
X_p	= jarak yang ditempuh selama proses gelombang pecah (m),

α_o	= sudut antara garis puncak gelombang di laut dalam dan garis pantai
α	= sudut antara garis puncak gelombang dan garis kontur dasar laut di titik yang ditinjau
η_i	= elevasi muka air oleh gelombang insiden (m)
η_r	= elevasi muka air oleh gelombang refleksi (m)
ρ	= massa jenis air laut (kg/m^3)
β	= sudut antara arah gelombang datang dan garis normal dinding vertikal
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$	= koefisien perhitungan tekanan gelombang
η^*	= elevasi muka air di lokasi yang mendapatkan tekanan gelombang

DAFTAR ISTILAH

<i>Jetty</i>	: bangunan pelindung pantai yang tegak lurus dengan garis pantai dan diletakkan pada satu atau kedua sisi muara sungai
<i>Rigid</i>	: kaku, tidak fleksibel
<i>Semi-rigid</i>	: fleksibel
<i>Diurnal tide</i>	: pasang surut yang terjadi satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut
<i>Semidiurnal tide</i>	: pasang surut yang terjadi dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hampir sama
<i>Mixed tide prevailing diurnal</i>	: Pasang surut yang dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda
<i>Mixed tide prevailing semidiurnal</i>	: pasang surut yang dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda.
HWL	: <i>High Water Level</i> , muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut
LWL	: <i>Low Water Level</i> , kedudukan air terendah yang dicapai pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut
MHWL	: <i>Mean High Water Level</i> , rerata dari muka air tinggi.
MLWL	: <i>Mean Low Water Level</i> , rerata dari muka air rendah
MSL	: <i>Mean Sea Level</i> , muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata
HHWL	: <i>Highest High Water Level</i> , air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
LLWL	: <i>Lowest Low Water Level</i> , air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati

SWL	: <i>Still Water Level</i> , muka air tenang.
Refraksi	: peristiwa berubahnya arah perambatan dan tinggi gelombang akibat perubahan kedalaman dasar laut.
Difraksi	: membelokkannya gelombang karena terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau
<i>Wave Runup</i>	: tinggi vertikal gelombang di atas SWL yang akan melimpas struktur (<i>run up</i>) menunjukkan syarat minimum tinggi struktur agar <i>overtopping</i> tidak terjadi..
<i>Overtopping</i>	: melimpasnya air laut di atas struktur
<i>Wave Setup</i>	: naiknya muka air laut akibat gelombang pecah
<i>Wave Sedown</i>	: turunnya muka air laut akibat gelombang pecah
<i>Slope</i>	: kemiringan dasar laut

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jetty adalah bangunan yang biasa digunakan untuk mencegah sedimentasi. Sedimentasi berlebih akan menyebabkan adanya pengendapan sehingga terjadi pendangkalan. Dengan adanya *jetty*, maka transpor sedimen di sepanjang pantai akan terhalang.

Namun saat ini *jetty* bukan hanya digunakan sebagai pelindung pantai, tapi juga digunakan dalam proses industri yang memerlukan air laut untuk sistem pendingin mesin pembangkit. Sistem ini biasa disebut dengan *water intake canal*. Salah satu perusahaan yang menggunakan *jetty* untuk perlindungan *water intake canal* adalah Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PTLGU) Grati.

PTLGU Grati merupakan Unit Bisnis Pembangkitan (UBP) Perak-Grati milik PT. Indonesia Power yang terletak di Desa Wates, Kecamatan Lekok, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Lokasi ini terletak di tepi perairan Selat Madura yang memiliki tingkat sedimentasi yang cukup besar. Salah satu proyek yang beroperasi adalah *Grati Combined Cycle Power Plant and Gas Power Plant* yang menggunakan bahan bakar minyak diesel dan gas natural. *Grati Power Plant* terdiri dari satu unit pembangkit listrik tenaga gas dan uap dan tiga generator turbin gas yang digunakan dalam siklus terbuka.

Dalam prosesnya, pembangkit listrik ini memerlukan sistem pendingin *water intake canal* untuk mendinginkan mesin *steam turbin*. Sistem pendingin yang memiliki sebuah pintu kanal ini menggunakan air laut yang dipompa masuk menuju kondensor. *Water intake canal* ini berupa dua buah *jetty* yang dibangun sejajar sebagai pintu masuk air laut yang selanjutnya digunakan untuk mendinginkan mesin. Selain itu *water intake canal* ini juga berfungsi mencegah terjadinya sedimentasi yang mengganggu jalannya air laut yang masuk menuju sistem pendingin.

Meski telah dibangun dua *jetty*, Damerianne dkk (2013) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa hampir setiap tahun pihak perusahaan melakukan pengerukan di daerah *water intake canal* karena adanya sedimentasi berlebih dari daerah sekitar

menuju kanal. Kondisi ini menyebabkan penumpukan sedimen di area *water intake canal* yang terus mengendap sehingga debit aliran air yang masuk menuju sistem pendingin mesin pun berkurang dan kegiatan pemompaan air menuju sistem pendingin juga terganggu.



Gambar 1.1. *Jetty* PLTGU Grati

Menurut Priyantoro dkk (2012), penyebab adanya sedimentasi tersebut diduga berasal dari kesalahan perencanaan desain bangunan *jetty* yang mencakup panjang, lebar dan peletakan sudut bangunan terhadap arah datang gelombang. Sehingga perlu dilakukan evaluasi dan melakukan modifikasi *jetty*.

Dalam penelitiannya, Atikasari (2015) telah mendesain *layout jetty* baru dengan melakukan perpanjangan konstruksi *jetty* eksisting. Ia mendesain 3 alternatif *jetty* dan menganalisa volume sedimentasi masing-masing. Dengan mempertimbangkan selisih volume sedimentasi, dipilihlah alternatif *jetty* 1 yang memberikan modifikasi berupa penambahan panjang bangunan di kedua *jetty* eksisting. Penambahan bangunan ini dibuat agar sedimen tidak masuk ke dalam *water intake canal* PLTGU Grati. Pada bangunan *jetty* di sebelah timur diberikan penambahan bangunan yang melengkung dengan panjang busur sekitar 162 m. Sedangkan pada bangunan sebelah barat diberikan penambahan bangunan dengan panjang busur sekitar 72,24 m dengan posisi yang agak melengkung ke barat. Dimensi dari desain *jetty* alternatif 1 dapat dilihat seperti Gambar 1.2.

Dengan adanya desain modifikasi *layout* perpanjangan *jetty*, maka diperlukan analisa beban gelombang pada dinding vertikalnya. Dalam hal ini, dinding vertikal

yang dimaksud adalah turap (*sheetpile*). Metode perhitungan beban gelombang yang digunakan dalam analisa ini adalah metode yang diperkenalkan Goda (1974) dan Minikin (1963). Pada penelitian ini, bagian *jetty* yang dianalisa adalah *jetty* bagian kanan dengan panjang 162 m. *Jetty* bagian kanan menerima beban gelombang yang lebih besar dibandingkan *jetty* bagian kiri. Hal ini karena arah gelombang dominan adalah dari timur.



Gambar 1.2. Desain Alternatif *Jetty* PLTGU Grati
(Sumber: Atikasari, 2015)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan dalam latar belakang di atas, maka beberapa masalah yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik gelombang yang diterima dinding vertikal struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati?
2. Berapakah beban gelombang yang diterima dinding vertikal struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati menggunakan metode Goda dan Minikin?
3. Metode perhitungan beban gelombang manakah yang sesuai untuk struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai ialah:

1. Menghitung karakteristik gelombang yang diterima dinding vertikal struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati.
2. Menghitung beban gelombang yang diterima dinding vertikal struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati menggunakan metode Goda dan Minikin.
3. Memilih metode perhitungan beban gelombang yang sesuai untuk struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian Tugas Akhir ini adalah mendapatkan metode perhitungan gaya gelombang yang sesuai untuk struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati.

1.5 Batasan Masalah

Dalam Tugas Akhir ini, perlu diberikan batasan-batasan analisa yang dilakukan dapat memberikan hasil yang maksimal. Adapun batasan masalah yang diberikan dalam studi ini adalah sebagai berikut:

1. Data Lingkungan yang digunakan merupakan data sekunder
2. *Layout jetty* yang digunakan adalah hasil dari penelitian sebelumnya
3. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) tidak dilakukan
4. Dinding vertikal yang dimaksud adalah *sheetpile* atau turap
5. Tidak membahas respons struktur terhadap gelombang
6. *Jetty* yang dianalisa adalah *jetty* sebelah kanan

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penelitian Tugas Akhir ini dimulai dari Bab I yaitu pendahuluan yang menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian Tugas Akhir, manfaat yang

diperoleh, serta ruang lingkup penelitian untuk membatasi analisa yang dilakukan dalam Tugas Akhir.

Pada Bab II (dua), terdapat tinjauan pustaka dan dasar teori yang berisi referensi dan juga teori-teori pendukung yang digunakan sebagai acuan atau pedoman dalam menyelesaikan Tugas Akhir. Referensi tersebut bersumber pada jurnal lokal maupun internasional, literatur, *rules/code* dan juga buku yang berkaitan dengan topik yang berhubungan dengan *jetty* dan beban gelombang.

Pada bab berikutnya yaitu Bab III (tiga), terdapat alur pengerjaan Tugas Akhir dengan tujuan untuk memecahkan masalah yang diangkat dalam bentuk diagram alir atau *flow chart* yang disusun secara sistematis yang dilengkapi pula dengan data-data penelitian serta penjelasan detail untuk setiap langkah pengerjaannya.

Pada Bab IV (empat) terdapat analisa dan pembahasan yang isinya menjelaskan tentang pengolahan data yang diperoleh, kemudian perhitungan beban gelombang sesuai dengan metode Minikin dan Goda. Selanjutnya, hasil perhitungan akan dibandingkan untuk menentukan metode yang sesuai untuk perhitungan beban gelombang pada dinding vertikal struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati.

Bab V berisi kesimpulan yang merupakan uraian singkat dari keseluruhan hasil analisa. Uraian singkat ini diharapkan bisa menjawab rumusan masalah yang ada pada Bab I. Pada Bab ini juga berisikan saran yang bermanfaat guna keberlanjutan penelitian terkait kedepannya.

Bagian terakhir dalam Tugas Akhir ini yaitu daftar pustaka yang menampilkan seluruh informasi dan dokumen tertulis yang dijadikan landasan dan pengembangan penelitian.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada dasarnya, *jetty* adalah bangunan yang digunakan untuk mengurangi sedimentasi yang menyebabkan pendangkalan di muara sungai. Namun, saat ini *jetty* juga dimanfaatkan untuk melindungi area industri yang memanfaatkan air laut dalam prosesnya, seperti *water intake canal*. Salah satu perusahaan yang memanfaatkan *jetty* untuk hal ini adalah Perusahaan Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Grati.

Meski sudah memiliki dua buah *jetty*, namun sedimentasi masih kerap terjadi di sekitar *water intake canal*. Kondisi ini akhirnya membuat pihak perusahaan untuk melakukan pengerukan setiap tahunnya karena sedimentasi tersebut menghambat aliran air yang masuk ke dalam *water intake canal*. Dalam hal ini, Damerianne dkk (2013) akhirnya melakukan penelitian untuk menghitung laju sedimentasi yang terjadi dan mendapatkan volume deposit (sedimen) yang harus dikeruk selama kurun waktu 6 bulan.

Priyantoro dkk (2012) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa penyebab adanya sedimentasi tersebut diduga berasal dari kesalahan perencanaan desain bangunan *jetty* yang mencakup panjang, lebar dan peletakan sudut bangunan terhadap arah datang gelombang sehingga perlu dilakukan evaluasi dan modifikasi *jetty*. Selain itu, faktor perubahan arah angin juga berdampak pada meningkatnya sedimentasi di sekitar *jetty*. Dengan demikian, perlu dilakukan modifikasi *jetty* eksisting untuk meminimalisir adanya sedimentasi sehingga pengerukan tidak perlu lagi dilakukan dan biaya perawatan kanal *water intake* yang dilakukan perusahaan bisa direduksi. Penelitian yang dilakukan Atikasari (2015) menyatakan bahwa *jetty* eksisting harus diperpanjang sehingga sedimentasi tersebut dapat dikurangi.

Dari hasil penelitian Atikasari (2015), peneliti pun melakukan pengembangan dengan menganalisa beban gelombang yang terjadi pada dinding vertikal struktur perpanjangan *jetty*. Dalam menganalisa beban gelombang pada dinding vertikal *jetty* PLTGU Grati, peneliti membandingkan dua metode perhitungan gelombang yang diperkenalkan oleh Minikin (1963) dan Goda (1974).

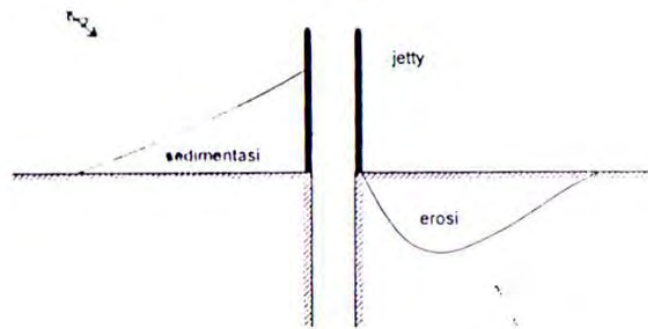
Dalam penelitiannya, Chu (1989) menyatakan bahwa metode perhitungan beban gelombang yang diperkenalkan Minikin (1963), awalnya diterima secara luas dalam praktik desain meski sering dikritik karena terlalu konservatif. Setelah itu, sebuah metode alternatif untuk perhitungan beban gelombang diperkenalkan oleh Goda (1974) dan telah diadopsi oleh Port and Harbour Facilities di Jepang pada tahun 1980. Metode ini tidak dianggap konservatif seperti metode yang diusulkan oleh Minikin. Untuk itulah, kedua metode perhitungan beban gelombang ini akan dikaji ulang dalam Tugas Akhir ini. Dengan demikian, akan didapatkan metode perhitungan beban gelombang yang sesuai untuk dinding vertikal struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Jetty*

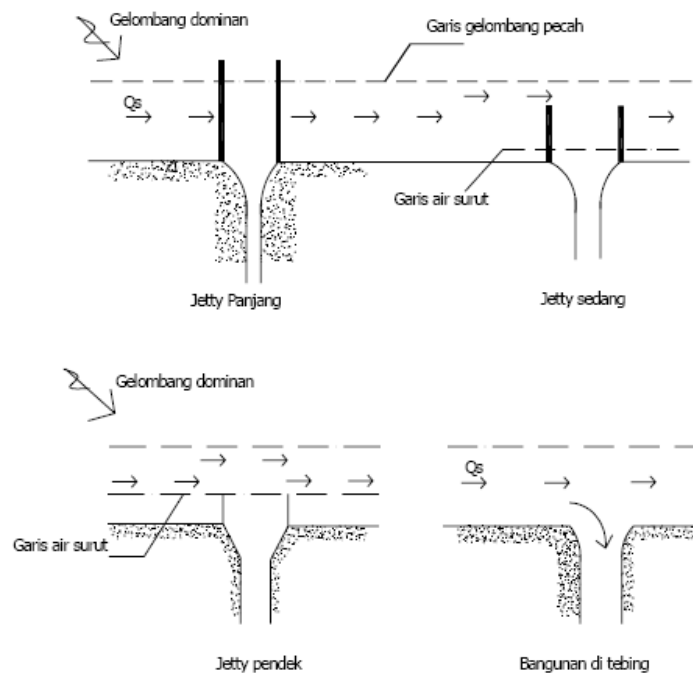
Dalam penelitiannya, Tawas dkk (2013) menyebutkan bahwa *jetty* adalah bangunan pelindung pantai yang tegak lurus dengan garis pantai dan diletakkan pada satu atau kedua sisi muara sungai. Bangunan ini biasanya dimanfaatkan untuk mencegah adanya luapan air sungai oleh endapan sedimen pantai. Penanggulangan penutupan muara dibedakan atas penanggulangan untuk lalu lintas kapal (*jetty* panjang) dan penanggulangan penutupan mulut muara yang menyebabkan banjir (*jetty* pendek).

Pada pantai berpasir, Triatmodjo (1999) menjelaskan bahwa pembuatan *jetty* yang menjorok cukup jauh ke laut dapat menyebabkan terhalangnya transpor sedimen sepanjang pantai. Sedimen yang bergerak dari sebelah kiri akan terhalang oleh *jetty*, sehingga pengendapan terjadi di daerah tersebut. Daerah di sebelah kanannya, gelombang yang datang membentuk sudut terhadap garis pantai menyebabkan terjadi arus sepanjang pantai. Arus tersebut dapat mengangkut sedimen. Tetapi di daerah ini tidak mendapatkan suplai sedimen, karena sedimen yang bergerak dari sebelah kiri terhalang oleh bangunan. Akibatnya, pantai di sebelah kanan *jetty* akan mengalami erosi.



Gambar 2.1 Pengaruh Jetty Terhadap Pantai di Sekitarnya
(Sumber : Triatmodjo, 1999)

Apabila dibagi berdasarkan fungsinya, *jetty* memiliki tiga tipe yaitu *jetty* pendek, *jetty* sedang dan *jetty* panjang. Menurut Triatmodjo (1999), *jetty* pendek biasanya digunakan untuk menahan berbeloknya muara sungai dan mengkonsentrasikan aliran pada alur yang telah ditetapkan untuk bisa mengerosi endapan, sehingga pada awal musim penghujan di mana debit besar (banjir) belum terjadi, muara sungai telah terbuka. Sementara itu, *jetty* sedang biasanya digunakan untuk menahan sebagian transpor sedimen sepanjang pantai. Sedangkan untuk *jetty* panjang, biasanya digunakan untuk menghalangi masuknya sedimen ke muara. *Jetty* umumnya dibangun dengan ujung yang berada di luar gelombang pecah.



Gambar 2.2 Beberapa Tipe *Jetty*
(Sumber : Triatmodjo, 1999)

Terdapat dua jenis struktur pantai yaitu *rigid structure* dan *flexible (semi-rigid) structure*. *Rigid structure* adalah jenis konstruksi yang tidak bergerak dan mempunyai struktur masif. Selain itu, jenis ini juga mudah dan cepat dalam hal pemasangan, dengan harga konstruksi yang lebih murah dan biaya pemeliharaannya yang lebih rendah. Kekurangan *jetty* jenis ini adalah prosedur perencanaan yang rumit karena saat terjadi bencana kerusakan secara tiba-tiba dan total, sulit untuk usaha perbaikannya. Sementara itu, *flexible structure* merupakan jenis konstruksi yang bisa bergerak dan mudah dalam perencanaannya. Strukturnya relatif sederhana dan memiliki faktor stabilitas tinggi sehingga bisa mengabsorpsi sebagian besar energi gelombang yang menghantam permukaan bangunan agar bangunan masih tetap berfungsi. Selain itu, struktur jenis ini lebih mudah dalam proses perbaikan. Meski demikian, terdapat kekurangan pada struktur ini yaitu memerlukan material (bahan batuan) dengan jumlah volume yang besar untuk diameter dan kualitas yang disyaratkan. Dalam bukunya, Mani (2012) mengklasifikasikan beberapa struktur pantai pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Klasifikasi Struktur Pantai

No	Type of Structure	Classification
1	<i>Rigid</i>	<i>Concrete sea walls</i>
		<i>Other concrete walls</i>
		<i>Vertical wall breakwater</i>
		<i>Piles (supporting the structures)</i>
2	<i>Semi-rigid structures</i>	<i>Bulkheads</i>
		<i>Sheet pile walls</i>
3	<i>Porous structures</i>	<i>Revetments</i>
		<i>Rubble mound sea walls</i>
		<i>Submerged rubble structures</i>
		<i>Rubble mound breakwaters</i>
4	<i>Rigid and porous structures</i>	<i>Composite breakwaters</i>

2.2.2 Pasang Surut

Pasang surut air laut merupakan perubahan ketinggian muka air laut terhadap fungsi waktu yang disebabkan karena adanya pergerakan gaya tarik matahari, bulan, dan benda langit lain terhadap perputaran bumi, seperti yang dijelaskan Pratikto dkk (1997). Karena jarak bulan lebih dekat dengan bumi, maka pengaruh gaya gravitasi bulan terhadap bumi lebih besar dibandingkan dengan pengaruh gravitasi matahari terhadap bumi. Ketika bulan bergerak mengitari bumi, kekuatan gravitasinya menarik air yang paling dekat dari posisinya. Menurut Triatmodjo (1999), gaya tarik bulan yang mempengaruhi pasang surut adalah 2,2 kali lebih besar daripada gaya tarik matahari.

Elevasi muka air pada saat terjadi kejadian pasang surut sangat penting dalam perencanaan bangunan pelindung pantai. Selain elevasi muka air laut, pasang surut juga berpengaruh untuk menentukan besarnya transpor sedimen yang terjadi pada perencanaan bangunan pantai. Pada saat terjadi pasang, elevasi muka air laut berada pada posisi tertinggi sehingga volume air yang terjadi juga lebih besar. Karena volume air yang besar, maka gelombang yang dihasilkan juga lebih besar. Gelombang inilah yang akan mengangkut material sedimen menuju bangunan pantai, semakin besar gelombang yang terjadi maka semakin banyak pula angkutan sedimen yang terbawa menuju bangunan pantai. Kondisi ini akan mempengaruhi pola transpor sedimen yang terjadi di sekitar bangunan pantai.

Tipe pasang surut secara umum dibedakan menjadi empat, yaitu pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), pasang surut harian ganda (*semidiurnal tide*), pasang surut campuran condong harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*), dan pasang surut condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*). Pada dasarnya, bentuk pasang surut di berbagai daerah tidaklah sama. Berikut adalah penjelasan tipe-tipe pasang surut :

a) Pasang surut tunggal (*diurnal tide*)

Pasang surut ini terjadi satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut. Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit.

b) Pasang surut harian ganda (*semidiurnal tide*)

Pasang surut ini terjadi dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi secara berurutan secara teratur. Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit. Pasang surut ini terdapat di Selat Malaka sampai Laut Andaman.

c) Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*)

Pasang surut yang dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda.

d) Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*)

Pada tipe pasang surut ini dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda.

Triatmodjo (1999) menjelaskan, apabila elevasi ketinggian muka air ketika terjadi pasang surut selalu berubah setiap saat, maka diperlukan suatu elevasi yang ditetapkan berdasarkan data pasang surut, sehingga dapat digunakan sebagai pedoman dalam perencanaan bangunan pantai. Beberapa elevasi ketinggian muka air ketika pasang surut antara lain:

- a) Muka air laut tinggi (*high water level* (HWL)), muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut.
- b) Muka air rendah (*low water Level* (LWL)), kedudukan air terendah yang dicapai pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut.
- c) Muka air tinggi rerata (*mean high water level* (MHWL)), adalah rerata dari muka air tinggi.
- d) Muka air rendah rerata (*mean low water level* (MLWL)), adalah rerata dari muka air rendah.
- e) Muka air laut rerata (*mean sea level* (MSL)), adalah muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata. Elevasi ini digunakan sebagai referensi elevasi di daratan.
- f) Muka air tertinggi (*highest high water level* (HHWL)), adalah air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.

- g) Air rendah terendah (*lowest low water level* (LLWL)), adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.

Beberapa definisi elevasi muka air tersebut banyak digunakan dalam perencanaan bangunan pantai dan pelabuhan. Misalnya MHWL atau HHWL yang digunakan untuk menentukan elevasi puncak pemecah gelombang, dermaga, dan sebagainya.

2.2.3 Gelombang

Menurut Triatmodjo (1999), gelombang merupakan faktor utama di dalam penentuan tata letak (*layout*) pelabuhan, alur pelayaran, perencanaan bangunan pantai dan sebagainya. Oleh karena itu, seorang ahli teknik pantai harus memahami dengan baik karakteristik dan perilaku gelombang baik di laut dalam, selama perjalanannya menuju pantai maupun di daerah pantai, dan pengaruhnya terhadap bangunan pantai. Pendefinisian gelombang yang bekerja pada struktur pantai didapatkan dari hasil pengukuran gelombang atau *hindcasting*. Dalam OCDI (2002), disebutkan bahwa parameter gelombang yang sangat berpengaruh dalam sebuah desain bangunan pantai adalah :

- a) Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan ($H_{1/3}$ dan $T_{1/3}$)
Tinggi dan periode gelombang signifikan didapatkan dari rata – rata 3 tinggi dan periode gelombang hasil pengukuran yang nilainya paling besar.
- b) Tinggi dan Periode Gelombang Maksimum (H_{\max} dan T_{\max})
Tinggi gelombang paling tinggi dalam sebuah pengukuran
- c) $H_{1/10}$ dan $T_{1/10}$
Tinggi dan periode gelombang sepersepuluh ini didapatkan dari rata – rata 10 tinggi dan periode gelombang hasil pengukuran yang nilainya paling besar.
- d) Tinggi dan Periode Gelombang Rata-Rata (\bar{H} dan \bar{T})
- e) Tinggi dan Periode Gelombang di Laut Dalam (H_0 dan T_0)
Gelombang di mana kedalaman laut setidaknya bernilai setengah dari panjang gelombang. Parameter gelombang ini diekspresikan pula dengan tinggi gelombang signifikan di laut dalam tersebut.

f) Tinggi Gelombang Ekuivalen pada Laut Dalam (H_0')

Tinggi gelombang di laut dalam yang tidak mengalami refraksi. Tinggi gelombang ekuivalen ditunjukkan pada persamaan 2.1 di mana K_r adalah koefisien refraksi.

$$H_0 = K_r H_0' \dots \dots \dots (2.1)$$

2.2.4 Gelombang Kala Ulang

Dari setiap tahun pencatatan dapat ditentukan gelombang representatif seperti H_s , H_{10} , H_{maks} dan sebagainya. Berdasarkan dari representatif untuk beberapa tahun pengamatan dapat diperkirakan gelombang yang diharapkan disamai atau dilampaui satu kali dalam T tahun. Gelombang tersebut dikenal dengan gelombang periode ulang T tahun atau gelombang T tahunan. Apabila data yang tersedia adalah data angin maka analisa frekuensi dilakukan terhadap data angin tersebut yang selanjutnya digunakan untuk memprediksi gelombang. Dalam hal ini gelombang hasil peramalan adalah gelombang signifikan (H_s).

2.2.4.1 Distribusi Prediksi Gelombang

Dalam hal ini, distribusi yang digunakan untuk prediksi gelombang dengan kala ulang tertentu, yaitu *Fisher-Tippett Type I*. Distribusi tersebut ditunjukkan pada Persamaan 2.2.

$$P(H_s \leq \hat{H}_s) = e^{-e^{-\left(\frac{\hat{H}_s - B}{A}\right)}} \dots \dots \dots (2.2)$$

di mana,

- $P(H_s \leq \hat{H}_s)$: probabilitas bahwa \hat{H}_s tidak dilampaui
- H : tinggi gelombang representatif
- \hat{H} : tinggi gelombang dengan nilai tertentu
- A : parameter skala
- B : parameter lokasi
- k : parameter bentuk (lihat Tabel 2.2)

Data masukan disusun dalam urutan dari besar ke kecil. Selanjutnya probabilitas ditetapkan untuk setiap tinggi gelombang, sesuai dengan Persamaan 2.3.

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m-0,44}{N_T+0,12} \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan:

$P(H_s \leq H_{sm})$: probabilitas dari tinggi gelombang representatif ke m yang tidak dilampaui

H_{sm} : tinggi gelombang urutan ke m

m : nomorurut tinggi gelombang signifikan = $1,2,\dots,N$

N_T : jumlah kejadian gelombang selama pencatatan (bisa lebih besar dari gelombang representatif).

Parameter A dan B dihitung dari metode kuadrat terkecil untuk setiap tipe distribusi yang digunakan. Hitungan didasarkan analisa regresi linier dari Persamaan 2.4.

$$H_m = \hat{A} y_m + \hat{B} \dots\dots\dots(2.4)$$

di mana y_m diberikan oleh persamaan 2.5 dan perhitungan \hat{A} dan \hat{B} ditunjukkan pada persamaan 2.6 dan 2.7.

$$y_m = -\ln \{-\ln F(H_s \leq H_{sm})\} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\hat{A} = \frac{n \sum H_{sm} y_m - \sum H_{sm} \sum y_m}{n \sum y_m^2 - (\sum y_m)^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\hat{B} = \overline{H_{sm}} - \hat{A} \overline{y_m} \dots\dots\dots(2.7)$$

2.2.4.2 Periode Ulang Gelombang

Tinggi gelombang signifikan untuk berbagai periode ulang dihitung dari fungsi distribusi probabilitas dengan rumus yang ditunjukkan pada persamaan 2.8 di mana y_r diberikan oleh Persamaan 2.9.

$$H_{sr} = \hat{A} y_r + \hat{B} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$y_r = -\ln \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{L T_r} \right) \right\} \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan,

H_{sr} : tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_r

T_r : periode ulang (tahun)

K : panjang data (tahun)

L : rerata jumlah kejadian per tahun = $\frac{N_T}{K}$

2.2.5 Teori Gelombang

Dalam penelitiannya, Tawas (2013) menyatakan bahwa gelombang di laut bisa dibangkitkan oleh angin (gelombang angin), gaya tarik matahari dan bulan (pasang surut), letusan gunung berapi atau gempa di laut (*tsunami*), dan lain sebagainya. Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transpor sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai.

Untuk mendefinisikan properti gelombang yang terjadi pada struktur, maka digunakan beberapa pendekatan yang terdapat dalam teori gelombang. Djatmiko (2012) dalam bukunya menjelaskan terdapat 2 teori gelombang yang saat ini dipakai untuk berbagai analisa bangunan laut yaitu teori gelombang reguler (Airy) dan teori gelombang acak.

2.2.5.1 Teori Gelombang Airy

Perumusan yang paling sederhana dari gelombang laut adalah dalam bentuk osilasi sinusoidal seperti diperkenalkan Airy (1845). Teori ini didasarkan pada asumsi bahwa tinggi gelombang adalah relatif kecil bila memberikan komponen kecepatan pada arah tersebut.

Triatmodjo (1999) menyatakan batasan-batasan yang digunakan untuk menurunkan persamaan gelombang adalah sebagai berikut :

- a) Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan, sehingga rapat massa adalah konstan.
- b) Tegangan permukaan diabaikan.
- c) Gaya Coriolis (akibat perputaran bumi diabaikan).
- d) Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan.
- e) Zat cair adalah ideal, sehingga berlaku aliran tak berotasi.

- f) Dasar laut adalah horizontal, tetap dan *impermeable* sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol.
- g) Amplitudo gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan kedalaman air.
- h) Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjaran gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi.

Untuk melakukan perhitungan, Triatmodjo (1999) terlebih dahulu mengklasifikasikan gelombang menurut kedalaman relatif. Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air d dan panjang gelombang L , (d/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu:

- a) Gelombang laut dangkal jika $\frac{d}{L} \leq 1/20$
- b) Gelombang laut transisi jika $\frac{1}{20} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$
- c) Gelombang laut dalam jika $\frac{d}{L} \geq 1/2$

Menurut OCDI (2002), beberapa karakteristik gelombang pada perairan dangkal biasanya dijelaskan dalam teori gelombang reguler ini. Dalam hal ini, arah sumbu x menyatakan arah pergerakan gelombang dan sumbu z mengarah ke sumbu vertikal di mana $z=0$ menyatakan *Still Water Level (SWL)*. Sementara itu, kedalaman d diasumsikan konstan dan karakteristik gelombang diasumsikan sama untuk arah y .

- a) Menghitung Panjang Gelombang (m)

$$L = \frac{gT^2}{2} \tanh \frac{2d}{L} \dots \dots \dots (2.10)$$

di mana

d : kedalaman perairan (m)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

Dengan menggunakan Persamaan 2.10, jika kedalaman air dan periode gelombang diketahui, maka dengan metode iterasi (cara coba-banding) akan didapat panjang gelombang L . Setelah itu, cepat rambat gelombang dapat diperoleh dengan membagi panjang gelombang yang diperoleh dengan periode gelombang ($C = L/T$).

- b) Menghitung Cepat Rambat Gelombang (m/s)

$$C = \frac{gT}{2} \tanh \frac{2d}{L} \dots \dots \dots (2.11)$$

- c) Menghitung Cepat Rambat dan Panjang Gelombang Laut Dalam
Gelombang yang berada di perairan dengan karakteristik $d/L > 1/2$ dinamakan gelombang laut dalam. Karakteristik gelombang laut dalam dapat dinyatakan dalam teori gelombang Airy seperti pada Persamaan 2.12 dan 2.13.

$$L_0 = 1.56 T^2 \text{ (m)} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$C_0 = 1.56 T \text{ (m/s)} \dots\dots\dots (2.13)$$

- d) Menghitung Cepat Rambat dan Panjang Gelombang untuk Long Wave
Long wave memiliki karakteristik $h/L < 1/25$. Karena panjang h/L dianggap sangat kecil, maka panjang dan cepat rambat gelombang panjang ditunjukkan pada Persamaan 2.14 dan 2.15.

$$L = T \sqrt{gh} \text{ (m)} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$C = \sqrt{gh} \text{ (m/s}^2\text{)} \dots\dots\dots (2.15)$$

2.2.5.2 Teori Gelombang Stokes

Dalam bukunya, Triatmodjo (1999) mengatakan bahwa Stokes mengembangkan teori gelombang orde kedua untuk gelombang yang mempunyai tinggi gelombang kecil tapi berhingga. Menurut Triatmodjo (1999), panjang dan kecepatan rambat gelombang untuk teori gelombang Stokes sama dengan teori gelombang Airy, sesuai dengan Persamaan 2.10 dan 2.11.

2.2.5.3 Teori Gelombang Knoidal

Teori Gelombang Knoidal merupakan teori gelombang amplitudo berhingga yang cocok digunakan pada perairan dangkal dengan perbandingan $d/L < 1/8$. Gelombang knoidal adalah gelombang periodik yang biasanya mempunyai puncak tajam yang dipisahkan oleh lembah yang cukup panjang. Panjang gelombang knoidal diberikan oleh Persamaan 2.16.

$$L = \sqrt{\frac{16d^3}{3H}} k \cdot K(k) \dots\dots\dots (2.16)$$

2.2.5.4 Teori Gelombang Tunggal

Gelombang tunggal adalah gelombang berjalan yang terdiri dari satu puncak gelombang. Apabila gelombang memasuki perairan yang sangat dangkal, amplitudo gelombang menjadi semakin tinggi, puncaknya menjadi semakin tajam dan lembahnya menjadi semakin datar. Gelombang tunggal merupakan gelombang translasi, di mana kecepatan partikel air hanya bergerak dalam arah penjalaran gelombang.

2.2.6 Deformasi Gelombang

2.2.6.1 Gelombang Laut Dalam Ekivalen

Analisa transformasi gelombang sering dilakukan dengan konsep gelombang laut dalam ekivalen, yaitu tinggi gelombang laut dalam apabila gelombang tidak mengalami refraksi. Pemakaian gelombang ini bertujuan untuk menetapkan tinggi gelombang yang mengalami refraksi, difraksi dan transformasi lainnya, sehingga perkiraan transformasi dan deformasi gelombang dapat dilakukan lebih mudah. Tinggi gelombang di laut dalam ekivalen diberikan oleh Persamaan 2.1.

2.2.6.2 Refraksi Gelombang

Refraksi adalah peristiwa berubahnya arah perambatan dan tinggi gelombang akibat perubahan kedalaman dasar laut. Gambar 2.3 merupakan gambaran sederhana terjadinya refraksi. Gelombang akan merambat lebih cepat pada perairan yang dalam dari perairan yang dangkal. Hal ini menyebabkan puncak gelombang membelok dan menyesuaikan diri dengan kontur dasar laut.

Persamaan tinggi gelombang akibat perubahan kedalaman dasar laut ditunjukkan oleh Persamaan 2.17.

$$H = K_s K_r H_o \dots\dots\dots (2.17)$$

di mana,

K_s : Koefisien pendangkalan, merupakan fungsi panjang gelombang dan kedalaman

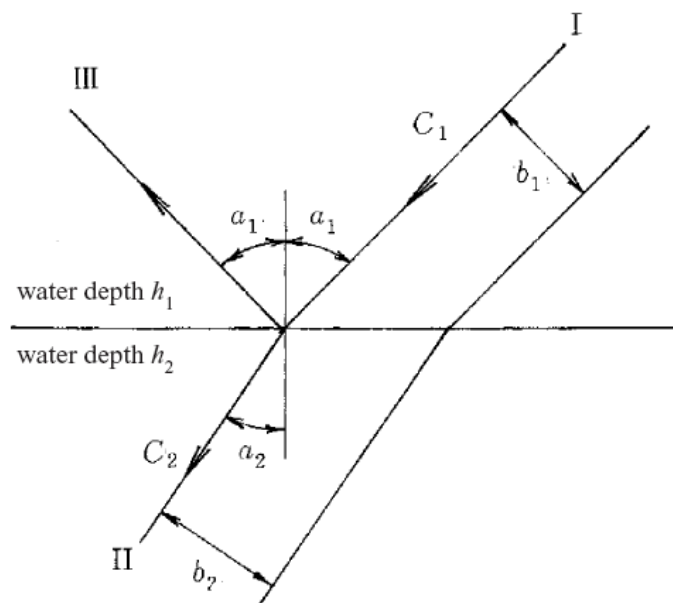
$$\text{air} = \sqrt{\frac{n_o L_o}{n L}}, \text{ bisa juga didapatkan dari tabel fungsi } d/L \text{ pada lampiran.}$$

Kr : Koefisien refraksi = $\sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha}}$

H_o : Tinggi gelombang di laut dalam

α_o : sudut antara garis puncak gelombang di laut dalam dan garis pantai

α : sudut antara garis puncak gelombang dan garis kontur dasar laut di titik yang ditinjau, $\sin \alpha = \left(\frac{c}{c_o}\right) \sin \alpha_o$



Gambar 2.3. Perambatan Arah Gelombang Akibat Refraksi
(Sumber: Triatmodjo, 1999)

2.2.6.3 Difraksi Gelombang

Apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung di belakangnya, seperti terlihat pada Gambar 2.4. Fenomena ini dikenal dengan difraksi gelombang. Garis puncak gelombang di belakang rintangan membelok dan mempunyai bentuk busur lingkaran dengan pusatnya pada ujung rintangan. Dianggap bahwa kedalaman air adalah konstan. Apabila tidak maka selain difraksi juga terjadi refraksi gelombang. Biasanya tinggi gelombang berkurang di sepanjang puncak gelombang menuju daerah terlindung.

[illegible]
$$H_A = K' H_p \dots\dots\dots (2.18)$$

$$K' = f(\theta, \beta, r/L). \quad (2.19)$$

A : Titik yang ditinjau di belakang rintangan

K' : Untuk $\theta, \beta, r/L$ tertentu diberikan dalam Tabel 2.2.

21

Tabel 2.2. Koefisien Difraksi Gelombang

nL	β (derajat)														nL	β (derajat)														
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	0		15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180			
$\theta = 15^\circ$																														
1/2	0.49	0.79	0.83	0.90	0.97	1.01	1.03	1.02	1.01	0.99	0.99	1.00	1.00	1/2	0.28	0.28	0.29	0.32	0.35	0.41	0.49	0.59	0.72	0.85	0.97	1.01	1.00	1.00		
1	0.38	0.73	0.83	0.95	1.04	1.04	0.99	0.98	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1	0.20	0.20	0.24	0.23	0.27	0.33	0.42	0.56	0.75	0.95	1.06	1.04	1.00	1.00		
2	0.21	0.68	0.86	1.05	1.03	0.97	1.02	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2	0.14	0.14	0.13	0.17	0.20	0.25	0.34	0.51	0.83	1.08	1.03	0.97	1.00	1.00		
5	0.13	0.63	0.99	1.04	1.03	1.02	0.99	0.99	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	5	0.09	0.09	0.10	0.11	0.13	0.17	0.27	0.52	1.02	1.04	1.04	1.02	1.00	1.00		
10	0.35	0.58	1.10	1.05	0.98	0.99	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	10	0.07	0.06	0.08	0.08	0.09	0.12	0.20	0.52	1.14	1.07	0.97	0.99	1.00	1.00		
$\theta = 30^\circ$																														
1/2	0.61	0.63	0.68	0.76	0.87	0.97	1.03	1.05	1.03	1.01	0.99	0.95	1.00	1/2	0.25	0.26	0.27	0.28	0.31	0.35	0.41	0.50	0.60	0.73	0.87	0.97	1.00	1.00		
1	0.50	0.53	0.63	0.78	0.95	1.06	1.05	0.98	0.98	1.01	1.01	0.97	1.00	1	0.18	0.19	0.19	0.21	0.23	0.27	0.33	0.43	0.57	0.76	0.95	1.04	1.00	1.00		
2	0.40	0.44	0.59	0.84	1.07	1.03	0.96	1.02	0.98	1.01	0.99	0.95	1.00	2	0.13	0.13	0.14	0.14	0.17	0.20	0.26	0.36	0.56	0.83	1.07	1.03	1.00	1.00		
5	0.27	0.32	0.55	1.00	1.04	1.04	1.02	0.99	0.99	1.00	1.01	0.97	1.00	5	0.08	0.08	0.08	0.09	0.11	0.13	0.16	0.27	0.53	1.01	1.04	1.03	1.00	1.00		
10	0.20	0.24	0.54	1.12	1.06	0.97	0.99	1.01	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	10	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.09	0.13	0.20	0.52	1.13	1.06	0.98	1.00	1.00		
$\theta = 45^\circ$																														
1/2	0.49	0.50	0.55	0.63	0.73	0.85	0.96	1.04	1.06	1.04	1.00	0.99	1.00	1/2	0.24	0.24	0.25	0.25	0.26	0.28	0.32	0.36	0.42	0.52	0.63	0.76	1.00	1.00		
1	0.38	0.40	0.47	0.59	0.76	0.95	1.07	1.06	0.98	0.97	1.01	1.01	1.00	1	0.18	0.17	0.18	0.18	0.19	0.21	0.23	0.28	0.34	0.44	0.59	0.78	1.00	1.00		
2	0.29	0.31	0.39	0.56	0.83	1.08	1.04	0.96	1.03	0.98	1.01	1.00	1.00	2	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14	0.17	0.20	0.26	0.37	0.56	0.84	1.00	1.00		
5	0.18	0.20	0.29	0.54	1.01	1.04	1.05	1.03	1.00	0.99	1.01	1.00	1.00	5	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.11	0.13	0.17	0.28	0.54	1.00	1.00	1.00		
10	0.13	0.15	0.22	0.53	1.13	1.07	0.96	0.98	1.02	0.99	1.00	1.00	1.00	10	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.13	0.21	0.53	1.12	1.00	1.00		
$\theta = 60^\circ$																														
1/2	0.40	0.41	0.45	0.52	0.60	0.72	0.85	1.13	1.04	1.06	1.03	1.01	1.00	1/2	0.23	0.23	0.24	0.25	0.27	0.29	0.33	0.38	0.45	0.55	0.68	0.83	1.00	1.00		
1	0.31	0.32	0.36	0.44	0.57	0.75	0.96	1.08	1.06	0.98	0.98	1.01	1.00	1	0.16	0.17	0.17	0.18	0.19	0.22	0.24	0.29	0.36	0.47	0.63	0.83	1.00	1.00		
2	0.22	0.23	0.28	0.37	0.55	0.83	1.08	1.04	0.96	1.03	0.98	1.01	1.00	2	0.12	0.12	0.12	0.13	0.14	0.15	0.18	0.22	0.28	0.39	0.59	0.86	1.00	1.00		
5	0.14	0.15	0.18	0.28	0.53	1.01	1.04	1.05	1.03	0.99	0.99	1.00	1.00	5	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.10	0.11	0.13	0.18	0.29	0.55	0.99	1.00	1.00		
10	0.10	0.11	0.13	0.21	0.52	1.14	1.07	0.96	0.98	1.01	1.00	1.00	1.00	10	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.10	0.13	0.22	0.54	1.10	1.00	1.00		
$\theta = 75^\circ$																														
1/2	0.34	0.35	0.38	0.42	0.50	0.59	0.71	0.85	0.97	1.04	1.05	1.02	1.00	1/2	0.23	0.23	0.23	0.24	0.26	0.28	0.31	0.35	0.41	0.50	0.63	0.79	1.00	1.00		
1	0.25	0.26	0.29	0.34	0.43	0.56	0.75	0.95	1.02	1.06	0.98	0.98	1.00	1	0.16	0.16	0.17	0.17	0.19	0.20	0.23	0.26	0.32	0.40	0.53	0.73	1.00	1.00		
2	0.18	0.19	0.22	0.26	0.36	0.54	0.83	1.09	1.04	0.96	1.03	0.99	1.00	2	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	0.16	0.19	0.23	0.31	0.44	0.68	1.00	1.00		
5	0.12	0.13	0.17	0.27	0.52	1.01	1.04	1.05	1.03	0.99	0.99	1.00	1.00	5	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.15	0.20	0.32	0.63	1.00	1.00		
10	0.08	0.08	0.10	0.13	0.20	0.52	1.14	1.07	0.96	0.98	1.01	1.00	1.00	10	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.21	0.58	1.00	1.00	1.00		
$\theta = 90^\circ$																														
1/2	0.31	0.31	0.33	0.36	0.41	0.49	0.59	0.71	0.85	0.96	1.03	1.03	1.00	1/2	0.20	0.25	0.23	0.24	0.25	0.28	0.31	0.34	0.40	0.49	0.61	0.78	1.00	1.00		
1	0.22	0.22	0.24	0.28	0.33	0.42	0.56	0.75	0.96	1.07	1.05	0.99	1.00	1	0.10	0.17	0.16	0.18	0.18	0.23	0.22	0.25	0.31	0.38	0.50	0.70	1.00	1.00		
2	0.16	0.16	0.18	0.20	0.26	0.35	0.54	0.69	1.08	1.04	0.96	1.02	1.00	2	0.02	0.09	0.12	0.12	0.13	0.18	0.16	0.18	0.22	0.29	0.40	0.60	1.00	1.00		
5	0.10	0.10	0.11	0.13	0.16	0.27	0.53	1.01	1.04	1.05	1.02	0.99	1.00	5	0.02	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.18	0.27	0.46	1.00	1.00		
10	0.07	0.07	0.08	0.09	0.13	0.20	0.52	1.14	1.07	0.96	0.99	1.01	1.00	10	0.01	0.05	0.05	0.04	0.06	0.07	0.07	0.08	0.10	0.13	0.20	0.36	1.00	1.00		

(Panny dan Price, 1952)

2.2.6.4 Refleksi Gelombang (Dinding Vertikal *Impermeable*)

Dinding vertikal yang kedap umumnya akan memantulkan sebagian besar energi gelombang kecuali dinding tersebut memiliki permukaan yang kasar dan dilindungi oleh *rubble toe protection*.

Nilai koefisien refleksi x adalah hampir mendekati 1.0, dan tinggi gelombang yang dipantulkan akan sama dengan tinggi gelombang insiden. Beberapa eksperimen menyatakan dinding vertikal yang kedap dan halus biasanya akan menunjukkan penurunan nilai x yang akan diikuti dengan peningkatan *wave steepness*. Domzig (1955) dan Goda dan Abe (1968) telah membuktikan hal ini lewat eksperimen yang didasari dengan teori gelombang linier. Penggunaan teori gelombang dengan orde yang lebih tinggi akan menunjukkan nilai koefisien refleksi sama dengan satu dan membuktikan prinsip konservasi energi.

Pemantulan gelombang yang sempurna dari dinding vertikal sama dengan pergerakan gelombang monokromatik yang didefinisikan dengan superposisi 2 gelombang dengan periode dan amplitudo yang sama namun memiliki arah yang berlawanan. Elevasi muka air pada gelombang insiden diberikan dengan menggunakan persamaan orde 1 (linier). Kondisi ini ditunjukkan oleh Persamaan 2.20 dan elevasi muka air gelombang refleksi ditunjukkan oleh Persamaan 2.21.

$$\eta_i = \frac{H_i}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \dots\dots\dots (2.20)$$

$$\eta_r = \frac{H_i}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} + \frac{2\pi t}{T}\right) \dots\dots\dots (2.21)$$

Dengan demikian, elevasi muka air adalah hasil penjumlahan dari η_i dan η_r dengan $H_i = H_r$, sehingga Persamaan 2.22 dapat disederhanakan menjadi Persamaan 2.23

$$\eta = \eta_i + \eta_r = \frac{H_i}{2} \left[\cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) + \cos\left(\frac{2\pi x}{L} + \frac{2\pi t}{T}\right) \right] \dots\dots\dots (2.22)$$

$$\eta = H_i \cos \frac{2\pi x}{L} \cos \frac{2\pi t}{T} \dots\dots\dots (2.23)$$

2.2.6.5 Gelombang Pecah

Gelombang yang merambat dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk dengan puncak gelombang semakin tajam sampai akhirnya pecah pada suatu kedalaman tertentu. Kedalaman pada titik tersebut disebut dengan kedalaman gelombang pecah (d_b). Goda (1970) dalam penelitiannya akhirnya membuat hubungan antara H_b/H_o dan H_o/L_o untuk setiap kemiringan dasar laut (m) yang berbeda. Hubungan tersebut direpresentasikan oleh Gambar 3.4. Setelah itu, hubungan empiris antara d_b/H_b dan H_b/gT^2 diperkenalkan oleh Weggel (1972) untuk setiap kemiringan dasar laut (m) yang berbeda dengan Gambar 3.5. Penentuan kedalaman gelombang pecah d_b dapat dirumuskan dalam Persamaan 2.24.

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b/gT^2)} \dots\dots\dots (2.24)$$

di mana

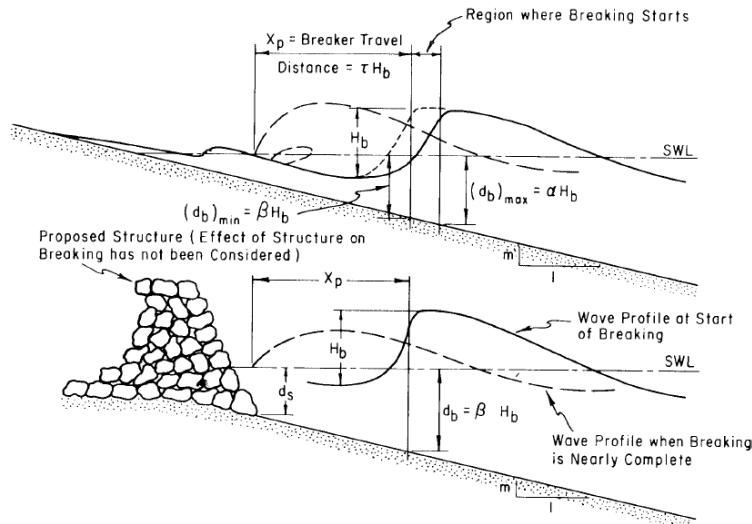
$$a = 43,75(1 - e^{-19m}) \dots\dots\dots (2.25)$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19.5m})} \dots\dots\dots (2.26)$$

Proses gelombang pecah, yaitu sejak gelombang mulai tidak stabil sampai pecah sepenuhnya terbentang pada suatu jarak X_p . Galvin (1969, dalam CERC, 1984) memberikan hubungan antara jarak yang ditempuh selama proses gelombang pecah

(X_p) dan tinggi gelombang saat mulai pecah (H_b), yang bergantung pada kemiringan dasar pantai.

$$x_p = (4,0 - 9,25m)H_b \dots \dots \dots (2.27)$$



Gambar 2.5. Geometri Gelombang Pecah
(Sumber: SPM, 1984)

2.2.6.6 Gelombang Pecah Rencana

Tinggi gelombang pecah rencana H_b merupakan tinggi gelombang pecah pada suatu jarak di depan kaki bangunan dimana gelombang pertama kali mulai pecah. Tinggi gelombang pecah rencana bergantung pada kedalaman air di depan kaki bangunan, kemiringan dasar pantai dan jarak penjalaran gelombang pecah. Untuk menghitung nilai H_b , Weggel (1972) telah membuat kurva hubungan antara d_s/gT^2 dan H_b/d_s di mana d_s adalah kedalaman struktur. Grafik tersebut ditunjukkan oleh Gambar 3.13.

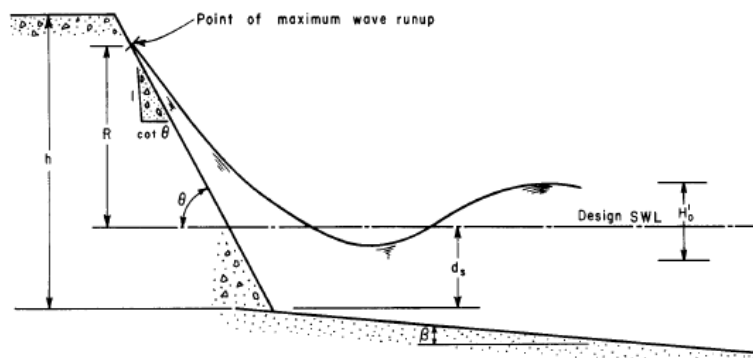
2.2.7 Fluktuasi Muka Air Laut

2.2.7.1 Wave Run Up

Untuk gelombang reguler, tinggi vertikal gelombang di atas SWL yang akan melimpas struktur (*wave run up*) menunjukkan syarat minimum tinggi struktur agar *overtopping* tidak terjadi. Kondisi ini ditunjukkan oleh Gambar 2.6. *Wave run up*

bergantung pada bentuk dan kekasaran struktur, kedalaman air pada kaki struktur, kemiringan dasar laut di depan struktur, dan karakteristik gelombang datang. Karena banyaknya variabel tersebut, tidak ada deskripsi lengkap yang mampu menjelaskan *wave run up*. Beberapa laboratorium telah meneliti *wave run up*.

Wave run up yang terjadi pada dinding vertikal diteliti oleh Seville (1956). Hasil penelitian tersebut ditunjukkan oleh Gambar 3.6. Kurva pada Gambar 3.6 menunjukkan *wave run up* relatif R/H_o sebagai fungsi dari *wave steepness* laut dalam dan kemiringan struktur, di mana R adalah tinggi *wave run up* yang diukur (secara vertikal) dari SWL dan H_o adalah tinggi gelombang laut dalam yang tidak mengalami refraksi.



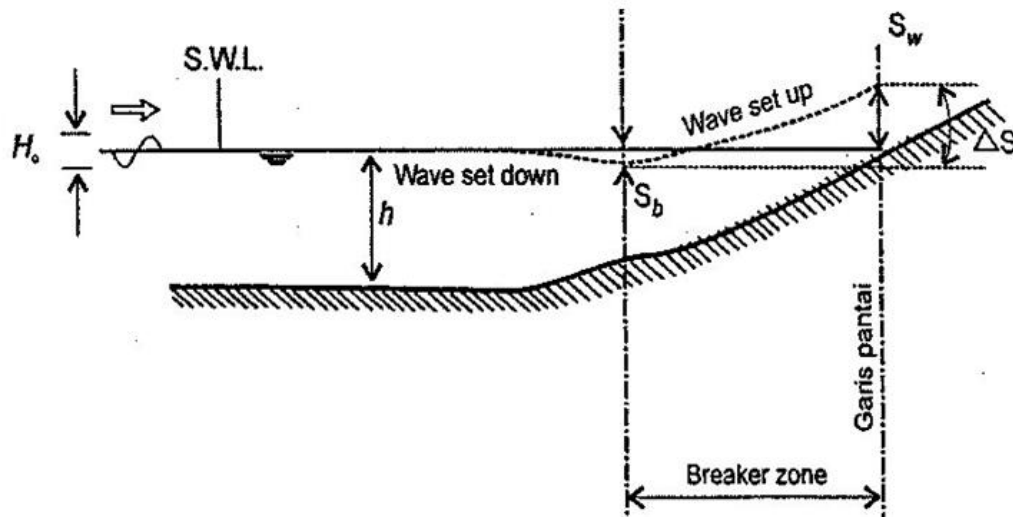
Gambar 2.6. Sketsa Definisi *Run Up*

(Sumber: SPM, 1984)

2.2.7.2 Kenaikan Muka Air Karena Gelombang (*Wave Set Up*)

Gelombang yang datang dari laut menuju pantai menyebabkan fluktuasi muka air di daerah pantai terhadap muka air diam. Pada waktu gelombang pecah, akan terjadi penurunan elevasi muka air rerata terhadap elevasi muka air di sekitar lokasi gelombang pecah. Kemudian dari titik di mana gelombang pecah terjadi, permukaan air rerata miring ke atas ke arah pantai. Turunnya muka air tersebut dikenal dengan *wave set down*, sedang naiknya muka air disebut *wave set up*, seperti ditunjukkan dengan Gambar 2.7.

Wave set up di pantai dapat dihitung dengan menggunakan teori Longuet-Higgins dan Stewart (1960, dalam CERC, 1984). Besar *wave set down* di daerah gelombang pecah diberikan oleh Persamaan 2.28. Sementara itu, besar *wave set-up* di pantai diberikan oleh Persamaan 2.29.



Gambar 2.7. *Wave Set Up dan Wave Set Down*

(Sumber: Triatmodjo, 1999)

$$S_b = - \frac{0,536 H_b^{\frac{2}{3}}}{g^{\frac{1}{2}} T} \dots \dots \dots (2.28)$$

$$S_w = \Delta S - S_b \dots \dots \dots (2.29)$$

di mana,

S_b : *set-down* di daerah gelombang pecah (m)

T : periode gelombang

H'_0 : tinggi gelombang laut dalam ekivalen

d_b : kedalaman gelombang pecah

g : percepatan gravitasi

Longuet-Higgins dan Stewart melakukan analisa data hasil percobaan yang dilakukan oleh Saville (1962, dalam SPM, 1984) dan hasilnya adalah $\Delta S = 0,15 d_b$. Dengan menganggap bahwa $d_b = 1,28 H_b$, maka perhitungan S_w ditunjukkan oleh Persamaan 2.31.

$$\Delta S = 0,15 d_b \dots \dots \dots (2.30)$$

$$S_w = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b \dots \dots \dots (2.31)$$

2.2.7.3 Overtopping

Menurut OCDI (2002), untuk struktur yang sangat mempertimbangkan faktor *overtopping*, kuantitas *overtopping* dihitung dengan melakukan percobaan model hidrolis atau dengan menggunakan data dari model hidrolis dari percobaan sebelumnya. Kuantitas *overtopping* adalah volume total dari air yang mengalami *overtopping*. Sementara nilai *overtopping* adalah volume rata-rata air yang mengalami *overtopping* dalam satuan waktu. Kuantitas *overtopping* yang besar bukan hanya menyebabkan kerusakan pada struktur di laut namun juga bisa menyebabkan banjir yang merusak jalan, rumah, atau pelabuhan di belakang struktur tersebut. Untuk struktur dengan dinding vertikal, perhitungan nilai *overtopping* bisa menggunakan Gambar 3.7 – 3.12.

2.2.7.4 Debit *Overtopping* yang Diijinkan

Berdasarkan OCDI (2002), *overtopping* yang diizinkan bergantung pada beberapa faktor seperti tipe *seawall*, kondisi dan kegunaan struktur dan lahan di belakang *seawall* dan kapasitas saluran. Meski tidak mungkin untuk menentukan satu standar untuk menentukan batas izin *overtopping*, Goda lalu membuat tingkatan volume *overtopping* yang dapat merusak struktur tertentu berdasarkan bencana yang pernah terjadi sebelumnya dan ditunjukkan oleh Tabel 2.3. Setelah itu, Nagai dkk (1982) juga membuat tingkatan kepentingan fasilitas atau bangunan di belakang *seawall* yang selanjutnya dijadikan sebagai nilai izin *overtopping* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.3. Batas Tingkat Kerusakan Akibat *Overtopping*

<i>Type</i>	<i>Covering</i>	<i>Rate of Overtopping (m³/m/s)</i>
<i>Revetment</i>	<i>Apron paved</i>	0,2
	<i>Apron unpaved</i>	0,05
<i>Levee</i>	<i>Concrete on front slope, crown, and back slope</i>	0,05
	<i>Concrete on front slope and crown, but no concrete on back slope</i>	0,02
	<i>Concrete on front slope only</i>	0,005

Tabel 2.4. Debit *Overtopping* yang Diizinkan Berdasarkan Tingkat Kepentingan Daerah yang Dilindungi

Wilayah pemukiman yang memiliki banyak fasilitas umum sehingga wilayah tersebut tidak boleh terkena banjir akibat <i>overtopping</i>	Sekitar 0,01 (m ³ /m/s)
Wilayah penting lainnya	Sekitar 0,02 (m ³ /m/s)
Wilayah lainnya	0,02 - 0,06 (m ³ /m/s)

Selain itu, Die Küste (2007) juga membuat batas *overtopping* berdasarkan penelitian – penelitian sebelumnya. Tabel 2.5. menunjukkan batas *overtopping* untuk struktur yang dapat digunakan untuk pejalan kaki. Tabel 2.6. menunjukkan batas *overtopping* untuk struktur yang dapat dilewati oleh kendaraan.

Tabel 2.5. Debit *Overtopping* yang Diizinkan untuk Pejalan Kaki

Jenis Pejalan Kaki	Debit <i>Overtopping</i> (m ³ /m/s)
Karyawan terlatih, memakai <i>safety tools</i> , mau basah	0,01-0,1
Pejalan kaki biasa, mentoleransi basah, jalan yang lebar	0,0001

Tabel 2.6. Debit *Overtopping* yang Diizinkan untuk Struktur yang Dilewati Kendaraan

Jenis Kendaraan	Debit <i>Overtopping</i> (m ³ /m/s)
Kendaraan dengan kecepatan rendah	0,01-0,05
Kendaraan dengan kecepatan tinggi	0,00001-0,00005

2.2.8 Beban Gelombang

2.2.8.1 Perhitungan Beban Gelombang Metode Minikin (1963)

Metode perhitungan beban gelombang yang diperkenalkan Minikin (1963) bisa digunakan untuk menghitung gaya gelombang ekstrim sekalipun. Metode ini dikembangkan pada awal tahun 1950-an untuk mengestimasi tekanan gelombang yang diakibatkan gelombang pecah pada dinding vertikal. Menurut Allshop dkk (1996), Minikin merumuskan perhitungan beban gelombang berdasarkan pengukuran di lapangan yang dilakukan oleh Rouville dkk (1938). Rumus tekanan gelombang maksimum yang dirumuskan pertama kali oleh Minikin ditunjukkan pada Persamaan 2.32.

$$P_{\max} = \frac{1}{2} C_{mk} \pi \rho_w g H_{\max} \left(1 + \frac{d}{h}\right) \left(\frac{d}{L}\right) \dots \dots \dots (2.32)$$

di mana C_{mk} adalah koefisien yang digunakan untuk menyesuaikan Persamaan 2.54 dengan data dari penelitian Rouville (1938). Minikin mengasumsikan $C_{mk} = 2$. Persamaan 2.54 selanjutnya disederhanakan oleh BS6349 Pt1 (1984) menjadi Persamaan 2.33.

$$P_{\max} = \pi \rho_w g H_{\max} \left(1 + \frac{d}{h}\right) \left(\frac{d}{L}\right) \dots \dots \dots (2.33)$$

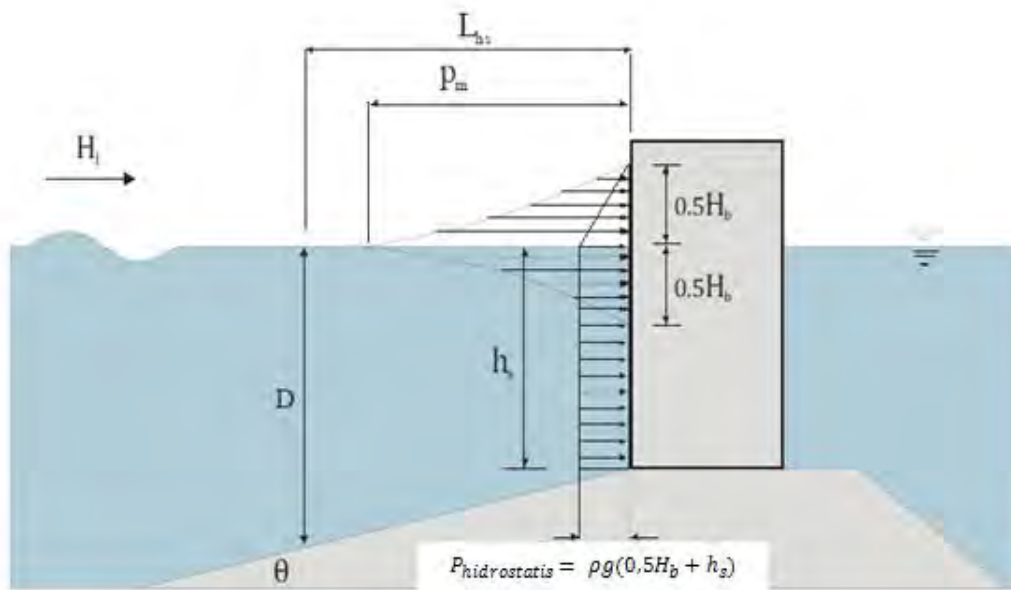
Minikin selanjutnya merevisi Persamaan 2.55 dengan mengganti $\pi \rho_w g$ menjadi 2,9 dan menetapkan satuannya menjadi ton/ft². Kesalahan penggunaan dimensi koefisien ini selanjutnya direvisi oleh peneliti lain, termasuk *Shore Protection Manual* (1984), yang mengganti πg pada rumus Minikin menjadi 101 seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.34 dengan satuan kN/m².

$$P_m = 101 \rho g \frac{H_b}{L_D} \frac{h_s}{D} (D + h_s) \dots \dots \dots (2.34)$$

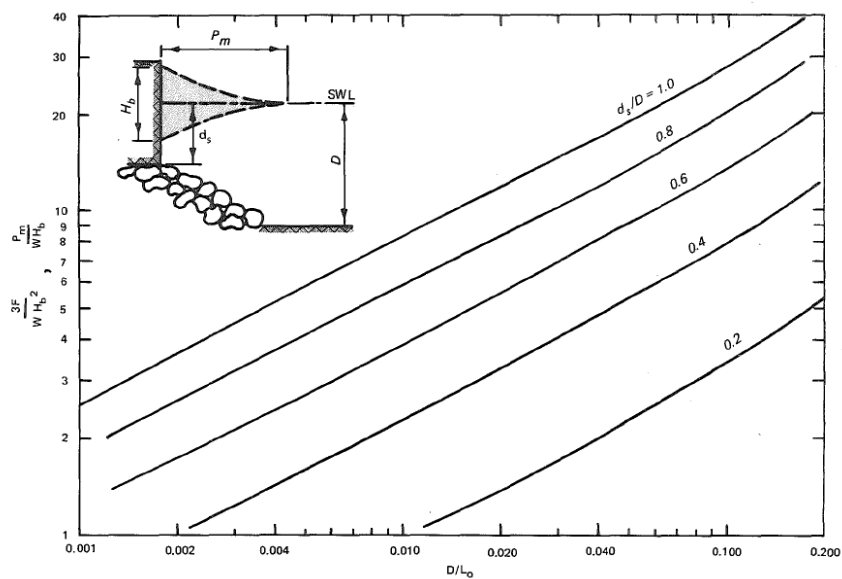
di mana,

- P_m (Peak Pressure) : tekanan maksimum di SWL
- H_b : tinggi gelombang pecah (grafik Weggel)
- h_s : kedalaman air di struktur yang diukur dari SWL ke dasar dinding vertikal
- L_{hs} : panjang gelombang di kedalaman h_s
- D : kedalaman yang diukur pada jarak 1 panjang gelombang pada kedalaman h_s . ($D = h_s + m \cdot L_{hs}$)
- L_D : panjang gelombang pada kedalaman D

Berdasarkan diagram distribusi tekanan Minikin pada Gambar 2.8, terlihat bahwa tekanan menurun secara parabola dari P_m di SWL ke titik 0 pada jarak $H_b/2$ di atas dan di bawah SWL. Pada metode ini, H_b dihitung menggunakan grafik Weggel (1972). Metode Minikin sebenarnya dibuat untuk menghitung beban gelombang pada pemecah gelombang komposit yang terdiri dari beton di atas tumpukan batu. Hubungan antara gaya F dan kedalaman, yaitu D/L_0 dan $3F/wH_b^2$ ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.8. Diagram Distribusi Tekanan Minikin
(Sumber: SPM, 1984)



Gambar 2.9. Tekanan Gelombang dan Gaya Gelombang Dinamik, Metode Minikin
(Sumber: Chu, 1989)

Dengan menggunakan asumsi distribusi parabola, hubungan gaya gelombang dinamik horizontal F dengan P_m ditunjukkan pada Persamaan 2.35. Sementara itu, gaya horizontal total yang bekerja pada suatu struktur ditunjukkan pada Persamaan 2.36.

$$R_m = \frac{1}{3} H_b \cdot P_m \dots \dots \dots (2.35)$$

$$R_t = R_m + \frac{\rho g \left(h_s + \frac{H_b}{2} \right)^2}{2} \dots \dots \dots (2.36)$$

Metode Minikin dibuat untuk diaplikasikan pada kasus *non-horizontal seabeds*. Metode ini selanjutnya digunakan untuk struktur yang mengalami *overtopping* dan bersifat *rigid*. (Chu, 1989).

Dalam penelitiannya, Allshop dkk (1996) menyebutkan bahwa gaya horizontal yang diprediksi oleh Minikin tidak tepat. Hal ini karena gaya gelombang justru semakin kecil dengan meningkatnya L_D . Bahkan, Bullock dkk (2004) juga menemukan banyak ketidaksesuaian pada metode Minikin dikarenakan perbedaan hasil perhitungan saat menggunakan satuan British dan satuan metrik. Meski demikian, belum ditemukan apa penyebab kesalahannya, meskipun Minikin sendiri menggunakan data pengukuran lapangan yang dilakukan oleh Rouville dkk (1938) untuk merumuskan perhitungan beban gelombang tersebut.

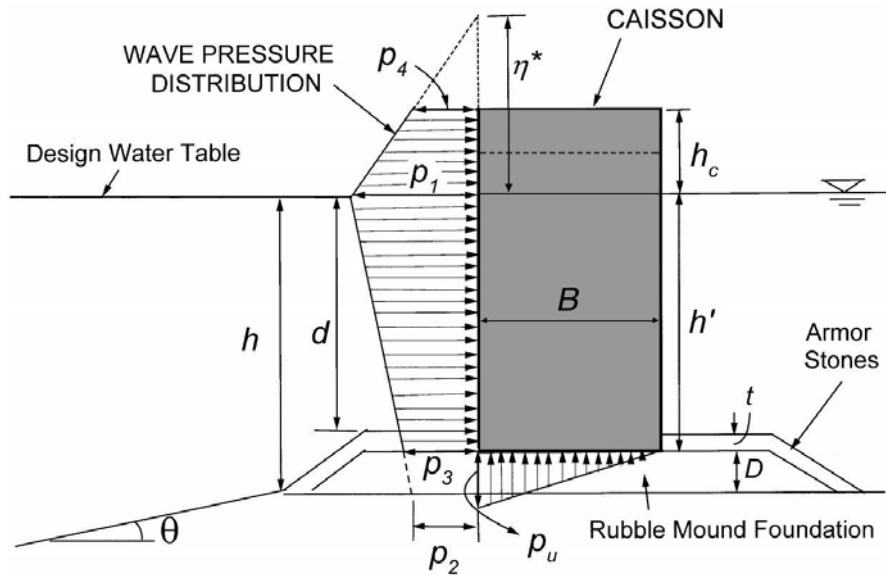
2.2.8.2 Perhitungan Beban Gelombang Metode Goda (1974)

Menurut Allshop dkk (1996) prediksi perhitungan beban gelombang yang paling banyak digunakan dalam desain adalah metode yang diperkenalkan oleh Goda (1974). Di Eropa, metode Goda disitasi oleh British Standard BS6349 Pt 1, BSI (1984) dan CIRIA/CUR yang diedit oleh Simm (1991).

Metode Goda bisa diterapkan baik pada gelombang pecah maupun gelombang tidak pecah. Berdasarkan Gambar 2.10, tekanan maksimum berada pada SWL dan berkurang secara linier di bawah SWL. Di atas SWL, tekanan menurun hingga nol pada puncak *wave run up* yang ditunjukkan pada jarak η^* , di mana η^* adalah elevasi maksimum di atas SWL.

Metode ini juga bisa digunakan untuk mengestimasi gaya *up-lift* dan *overturning moment* pada *caisson*. Tekanan *up-lift* di bawah dinding vertikal ditunjukkan dengan persamaan yang terpisah dari persamaan tekanan yang terjadi di depan dinding vertikal. Nilai tekanan *up-lift* ini lebih kecil jika dibandingkan dengan tekanan di depan dinding vertikal. Tekanan *up-lift* terdistribusi seperti segitiga dan menurun hingga nol pada ujung bawah dinding vertikal yang berada di belakang.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung tekanan yang disebabkan oleh gaya gelombang ditunjukkan oleh Persamaan 2.36 – 2.41.



Gambar 2.10. Tekanan Gelombang dan Gaya Gelombang, Metode Goda
(Sumber: Goda, 1974)

$$P_1 = \frac{1}{2} (1 + \cos\beta) (\alpha_1 + \alpha_2 \cos^2\beta) \rho g H_{\max} \dots\dots\dots (2.36)$$

$$P_2 = \frac{P_1}{\cosh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \dots\dots\dots (2.37)$$

$$P_3 = \alpha_3 P_1 \dots\dots\dots (2.38)$$

$$P_4 = \alpha_4 P_1 \dots\dots\dots (2.39)$$

$$P_u = \frac{1}{2} (1 + \cos\beta) \alpha_1 \alpha_3 \rho g H_{\max} \dots\dots\dots (2.40)$$

$$P_{\text{total}} = \frac{1}{2} (P_1 + P_3) h + \frac{1}{2} (P_1 + P_4) h_c^* \dots\dots\dots (2.41)$$

$$h_c^* = \min\{\eta^*, h_c\} \dots\dots\dots (2.42)$$

di mana

P_1 : tekanan gelombang di SWL

P_3 : tekanan gelombang di dasar dinding vertikal

P_4 : tekanan gelombang di bagian paling atas dinding vertikal

P_2 : tekanan gelombang di dasar struktur (untuk struktur yang memiliki kaki)

- P_u : tekanan uplift dari kaki bangunan terhadap dinding vertikal
 β : sudut antara arah gelombang datang dan garis normal dinding vertikal
 H_{max} : tinggi gelombang maksimum
 h_c^* : $\min\{\eta^*, h_c\}$
 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: koefisien perhitungan tekanan gelombang

Menurut Allsop dan Calabrese (1999), koefisien α_1 menunjukkan variasi tekanan sedangkan α_2 menunjukkan tekanan yang diakibatkan gelombang pecah. Koefisien α_1 dipengaruhi oleh kedalaman relatif terhadap panjang gelombang sedangkan α_2 dipengaruhi ketinggian kaki struktur (untuk struktur yang memiliki kaki). Sementara itu, koefisien α_3 menunjukkan level puncak pada struktur dan kedalaman air di atas kaki struktur.

Menurut Goda (1974), *breaking point* atau tinggi gelombang pecah tidak bisa didefinisikan secara tepat. Meskipun sangat mungkin menentukan tinggi gelombang pecah untuk gelombang individual pada rentetan *random waves*, hal itu menimbulkan ambiguitas dalam penentuan lokasi grup dimana gelombang akan pecah. Untuk itulah, Goda membuat alternatif bahwa tinggi puncak gelombang signifikan $(H_{1/3})_{peak}$ di depan *surf zone* dan kedalamannya $(h_{1/3})_{peak}$ direpresentasikan sebagai tinggi dan kedalaman gelombang pecah. Selanjutnya, $(H_{1/3})_{peak}$ bisa diganti H_{max} atau H_b , karena gelombang akan pecah saat mencapai titik maksimum.

Tinggi gelombang maksimum H_{max} yang digunakan dalam perhitungan didefinisikan sebagai $H_{1/250}$ (rata-rata 250 tinggi gelombang tertinggi dari total keseluruhan tinggi gelombang yang diukur). Definisi tersebut sesuai dengan pendekatan $H_{max} \cong 1,8H_{1/3}$ di luar *surf zone*. Meski demikian, Goda juga membedakan rumus perhitungan H_{max} dan $H_{1/3}$, bergantung dari rasio h/L_0 seperti yang ditunjukkan Persamaan 2.43 dan 2.44. Sementara itu, koefisien β_0, β_1, \dots ditunjukkan pada Tabel 2.7.

$$H_{max} = \begin{cases} 1,8K_S H_0 & : h/L_0 \geq 0,2 \\ \min\{(\beta_0^* H_0 + \beta_1^* h), \beta_{max}^* H_0, 1,8K_S H_0\} & : h/L_0 < 0,2 \end{cases} \dots\dots\dots(2.43)$$

$$H_{1/3} = \begin{cases} K_S H_0 & : h/L_0 \geq 0,2 \\ \min\{(\beta_0 H_0 + \beta_1 h), \beta_{max} H_0, K_S H_0\} & : h/L_0 < 0,2 \end{cases} \dots\dots\dots(2.44)$$

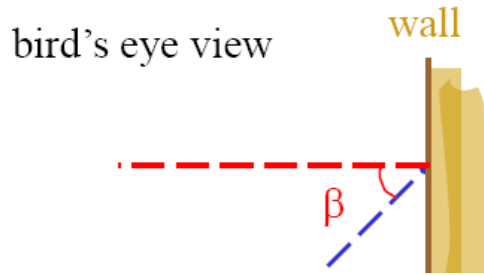
Tabel 2.7. Koefisien Pendekatan Estimasi Tinggi Gelombang pada *Surfzone*

Coefficients for $H_{1/3}$	Coefficients for H_{\max}
$\beta_0 = 0.028(H'_0/L_0)^{-0.38} \exp[20 \tan^{1.5} \theta]$	$\beta_0^* = 0.052(H'_0/L_0)^{-0.38} \exp[20 \tan^{1.5} \theta]$
$\beta_1 = 0.52 \exp[4.2 \tan \theta]$	$\beta_1^* = 0.63 \exp[3.8 \tan \theta]$
$\beta_{\max} = \max\{0.92, 0.32(H'_0/L_0)^{-0.29} \times \exp[2.4 \tan \theta]\}$	$\beta_{\max}^* = \max\{1.65, 0.53(H'_0/L_0)^{-0.29} \times \exp[2.4 \tan \theta]\}$

Note : max [a, b] gives the larger of a or b.

Goda (1974)

Nilai β adalah 0 jika arah gelombang datang sejajar dengan garis normal struktur. Jika nilai β lebih dari 0, maka besarnya harus lebih besar 15° dari arah gelombang hasil perhitungan. Hal ini diasumsikan untuk meminimalisir kesalahan saat mengestimasi arah gelombang datang. Sedangkan koefisien $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ diekspresikan oleh Persamaan 2.45 – 2.47.



Gambar 2.11 Gambaran Sudut β

$$\alpha_1 = 0,6 + 0,5 \left(\frac{4\pi \frac{h}{L}}{\sin(4\pi \frac{h}{L})} \right)^2 \dots\dots\dots(2.45)$$

$$\alpha_2 = \min \left\{ \frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H_{\max}}{d} \right)^2, \frac{2d}{H_{\max}} \right\} \dots\dots\dots(2.46)$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left(1 - \frac{1}{\cosh(2\pi \frac{h}{L})} \right) \dots\dots\dots(2.47)$$

$$\alpha_4 = \begin{cases} 1 - \frac{h_c}{\eta^*} \rightarrow \eta^* > h_c \\ 0 \rightarrow \eta^* \leq h_c \end{cases} \dots\dots\dots(2.48)$$

di mana

$\min \{a, b\}$: nilai paling kecil antara a atau b

h_b : kedalaman pada lokasi $5H_s$ di depan struktur
 η^* : elevasi muka air di lokasi yang mendapatkan tekanan gelombang

Selain menggunakan rumus di atas, perhitungan α_1 dan $\frac{1}{\cosh\left(2\pi\frac{h}{L}\right)}$ juga dapat dilakukan dengan menggunakan grafik pada Gambar 3.13 dan 3.14. Perhitungan elevasi muka air ditunjukkan pada Persamaan 2.49, sedangkan perhitungan h_b ditunjukkan oleh Persamaan 2.50.

$$\eta^* = 0,75(1 + \cos\beta)H_{max} \dots\dots\dots(2.49)$$

$$h_b = h + 5 \cdot H_{1/3} \cdot slope \dots\dots\dots(2.50)$$

Pada perhitungan α_2 , jika bangunan adalah dinding vertikal tanpa kaki, maka nilai d , h' dan h adalah sama. Untuk dinding vertikal tanpa kaki, juga tidak ada P_2 dan P_u . Sementara itu, hubungan gaya gelombang horizontal F dengan h/L_0 dengan variasi m ditunjukkan pada Gambar 3.16 dan 3.17.

Jika *overtopping* tidak terjadi, maka gaya gelombang horizontal dihitung dengan kondisi arah gelombang yang menabrak dinding adalah normal ($\beta = 0$). Namun jika *overtopping* terjadi, nilai $\beta > 15^\circ$. Hal ini sesuai dengan penerapan desain breakwater di Jepang (Goda, 1985).

Beberapa peneliti selanjutnya menemukan bahwa metode perhitungan Goda tidak konsisten. Bruining (1994) adalah salah satu peneliti yang membahas ketidakkonsistenan ini. Meski demikian, hingga saat ini metode Goda masih banyak digunakan.

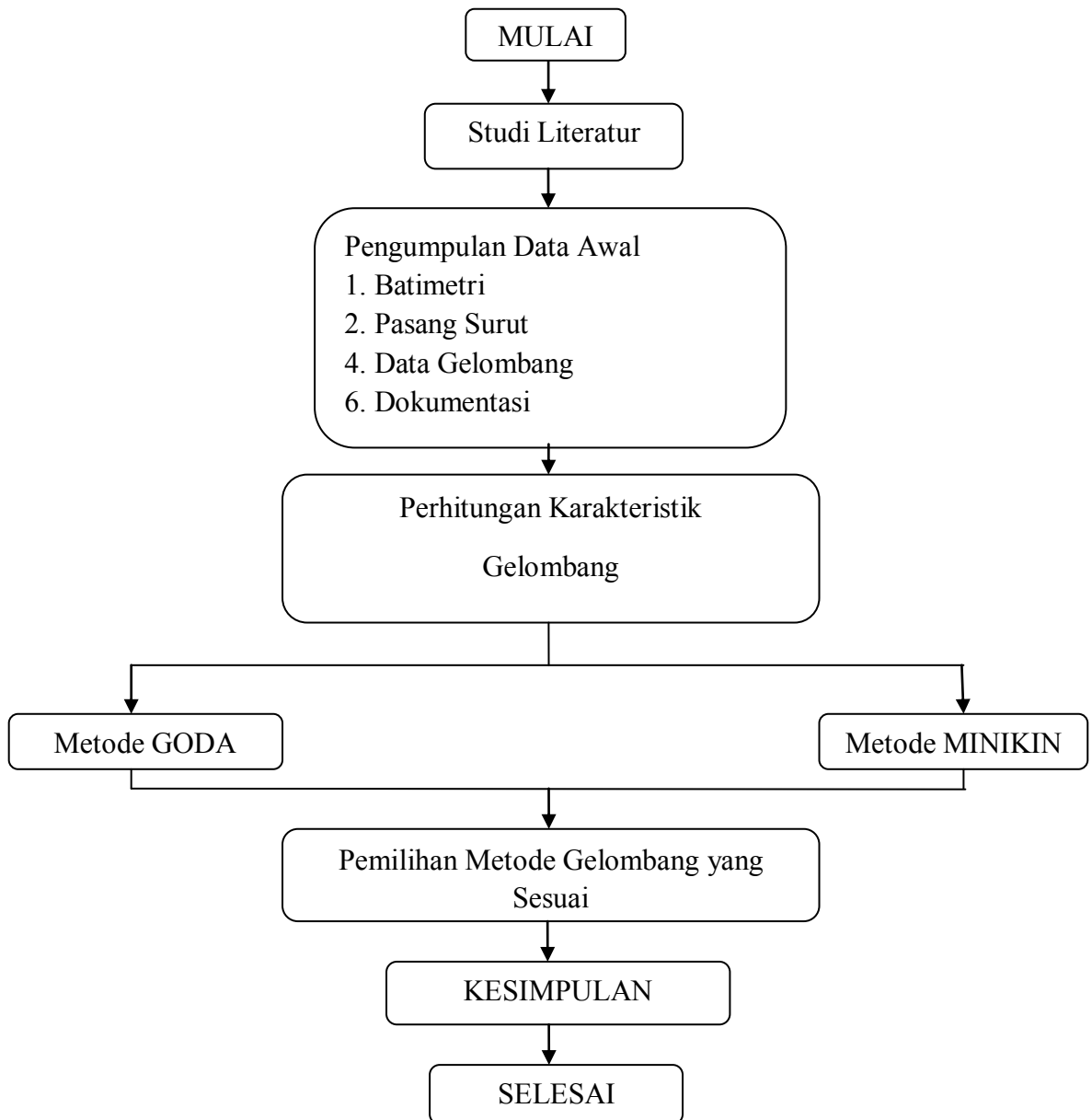
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Dalam Tugas Akhir ini diperlukan diagram alir pengerjaan untuk mempermudah evaluasi perkembangan. Secara garis besar, pengerjaan Tugas Akhir ini dapat dijelaskan dalam diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir

3.2 Penjelasan Diagram Alir

3.2.1 Studi Literatur

Pada tahap ini, peneliti melakukan studi literatur dari beberapa jurnal nasional maupun internasional dan buku untuk memahami lebih dalam mengenai perancangan bangunan *jetty* dan perhitungan beban gelombang. Perhitungan beban gelombang yang dimaksud adalah perhitungan beban gelombang dengan menggunakan metode Minikin dan Goda. Peneliti juga melakukan studi komparasi dari kedua metode tersebut dengan menggunakan penelitian-penelitian sebelumnya. Selain itu, peneliti juga melakukan studi untuk analisa karakteristik gelombang di perairan dangkal maupun di perairan transisi. Proses pemahaman ini dilakukan dengan mencari sumber bacaan, membaca dan kemudian memahaminya. Setelah itu, berbagai informasi tersebut kemudian dikaitkan dengan kondisi dan permasalahan yang terdapat pada laporan kerja praktik ini.

3.2.2 Pengumpulan Data

Dalam tahap ini, peneliti menggunakan data sekunder yang didapatkan dari hasil penelitian maupun pengukuran yang dilakukan pihak lain. Data-data tersebut meliputi :

- a) Peta Batimetri
- b) Pasang Surut
- c) Data Gelombang

Selain itu, peneliti juga mengumpulkan data primer yang berupa dokumentasi lokasi penelitian. Pengumpulan dokumentasi ini dilakukan pada 06 November 2015 di Desa Wates, Kecamatan Lekok, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur.

3.2.3 Analisa Karakteristik Gelombang

Dalam tahap ini, peneliti melakukan perhitungan untuk menentukan karakteristik gelombang di lokasi penelitian sebelum dan setelah struktur perpanjangan *jetty* dibangun. Untuk menganalisa karakteristik gelombang di lokasi penelitian sebelum struktur perpanjangan *jetty* dibangun, peneliti melakukan perhitungan kala ulang 50 tahun, penentuan teori gelombang yang sesuai, analisa

refraksi, perhitungan tinggi gelombang pecah dan kedalaman gelombang pecah untuk menentukan *breaker zone*, serta menghitung *wave set up* dan *wave set down*. Sementara itu, untuk menganalisa karakteristik gelombang di lokasi penelitian setelah struktur perpanjangan *jetty* dibangun, peneliti melakukan perhitungan *wave run up* dan gelombang pecah serta analisa *overtopping*.

2.2.3.1 Perhitungan Gelombang Kala Ulang 50 Tahun

Dalam perhitungan kala ulang 50 tahun, peneliti menggunakan metode *Fisher-Thippett I* dan menggunakan data gelombang sekunder. Dari data gelombang tersebut, dihitung tinggi gelombang signifikan (H_s) untuk masing-masing tahun. Data tinggi gelombang signifikan kemudian diurutkan dan diolah untuk menentukan tinggi dan periode gelombang kala ulang 50 tahun dengan menggunakan distribusi *Fisher Tippet I*. Dalam perhitungan ini, koefisien yang digunakan untuk menghitung deviasi standar ditunjukkan oleh Tabel 3.1.

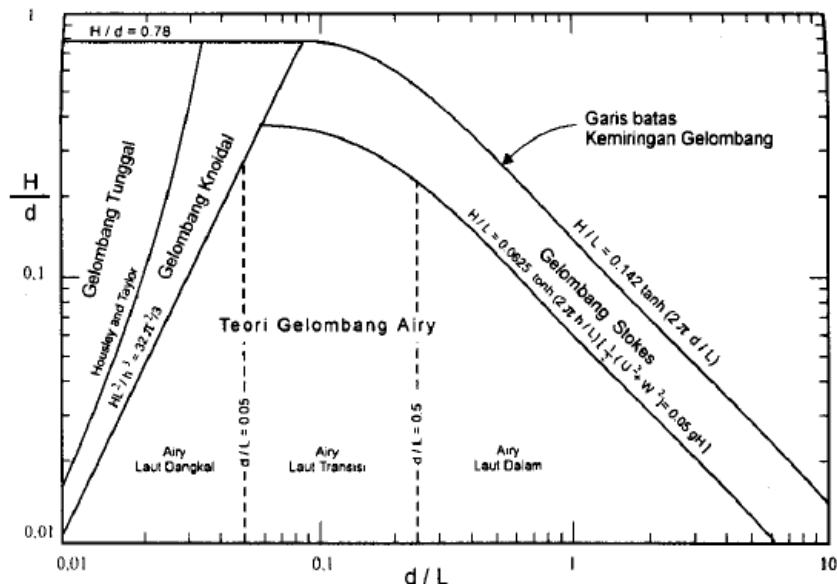
Tabel 3.1. Koefisien untuk Menghitung Deviasi Standar

Distribusi	α_1	α_1	k	c	ε
FT - 1	0,64	9,0	0,93	0,0	1,33
Weibull ($k = 0,75$)	1,65	11,4	-0,63	0,0	1,15
Weibull ($k = 1,0$)	1,92	11,4	0,00	0,3	0,90
Weibull ($k = 1,4$)	2,05	11,4	0,69	0,4	0,72
Weibull ($k = 2,0$)	2,24	11,4	1,34	0,5	0,54

(Triatmodjo, 1999)

2.2.3.2 Penentuan Teori Gelombang yang Sesuai

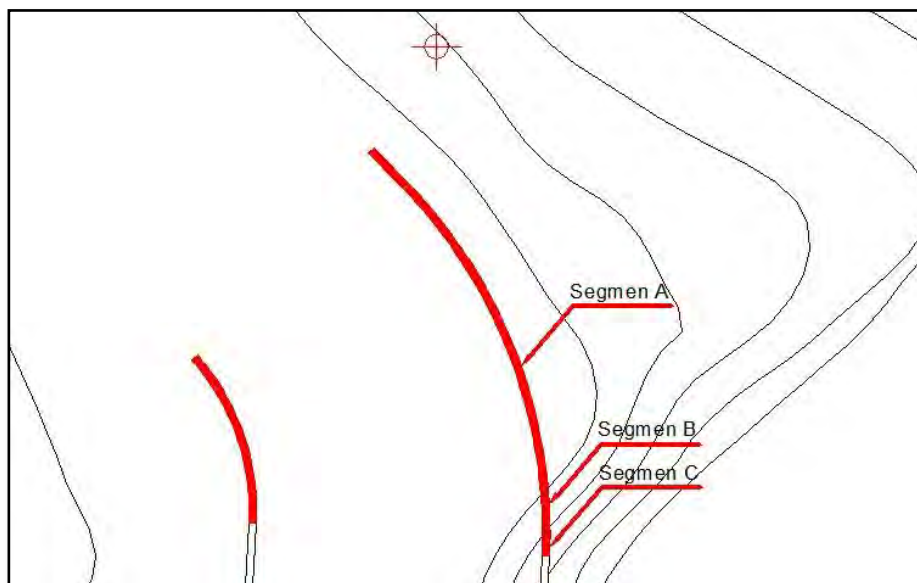
Dari beberapa teori gelombang pada Bab II, terdapat diagram yang digunakan untuk memilih teori yang sesuai untuk daerah yang akan dianalisa karakteristik gelombangnya. Diagram tersebut ditunjukkan oleh Gambar 3.2. Untuk menggunakan diagram tersebut, parameter yang harus dihitung terlebih dahulu adalah $H/(gT^2)$ dan $d/(gT^2)$, di mana H adalah tinggi gelombang signifikan, g adalah percepatan gravitasi, d adalah kedalaman air dan T adalah periode gelombang signifikan.



Gambar 3.2. Daerah Penerapan Fungsi Gelombang H/d dan d/L
(Sumber: Triatmodjo, 1999)

2.2.3.3 Analisa Refraksi

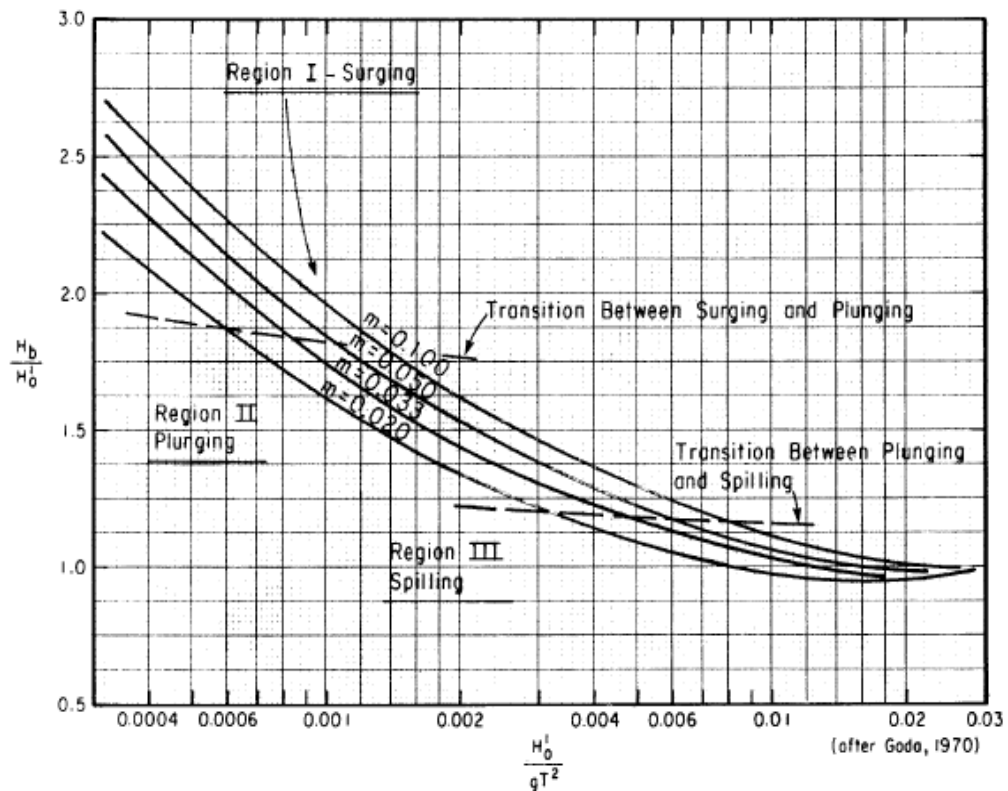
Sebelum melakukan analisa refraksi, peneliti membagi struktur menjadi 3 segmen yaitu segmen A, B dan C. Hal ini dilakukan karena struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati berada di kedalaman yang berbeda. Segmen A memiliki *slope* $m = 0,00$ dan segmen B,C memiliki *slope* $m = 0,03$. Pembagian segmen struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Pembagian Segmen Struktur Perpanjangan *Jetty* PLTGU Grati

2.2.3.4 Perhitungan Tinggi dan Kedalaman Gelombang Pecah

Parameter yang dibutuhkan dalam menganalisa tinggi dan kedalaman gelombang pecah sebelum struktur dibangun adalah tinggi gelombang laut dalam yang belum mengalami refraksi (H'_0) dan periode gelombang di laut dalam. Untuk menghitung tinggi gelombang pecah dan kedalamannya, peneliti menggunakan kurva tinggi dan kedalaman gelombang pecah yang dibuat oleh Goda (1970) dan Weggel (1972). Kurva tersebut ditunjukkan oleh Gambar 3.4 dan 3.5.



Gambar 3.4. Kurva Perhitungan Tinggi Gelombang Pecah

(Sumber: Goda, 1970)

Keterangan :

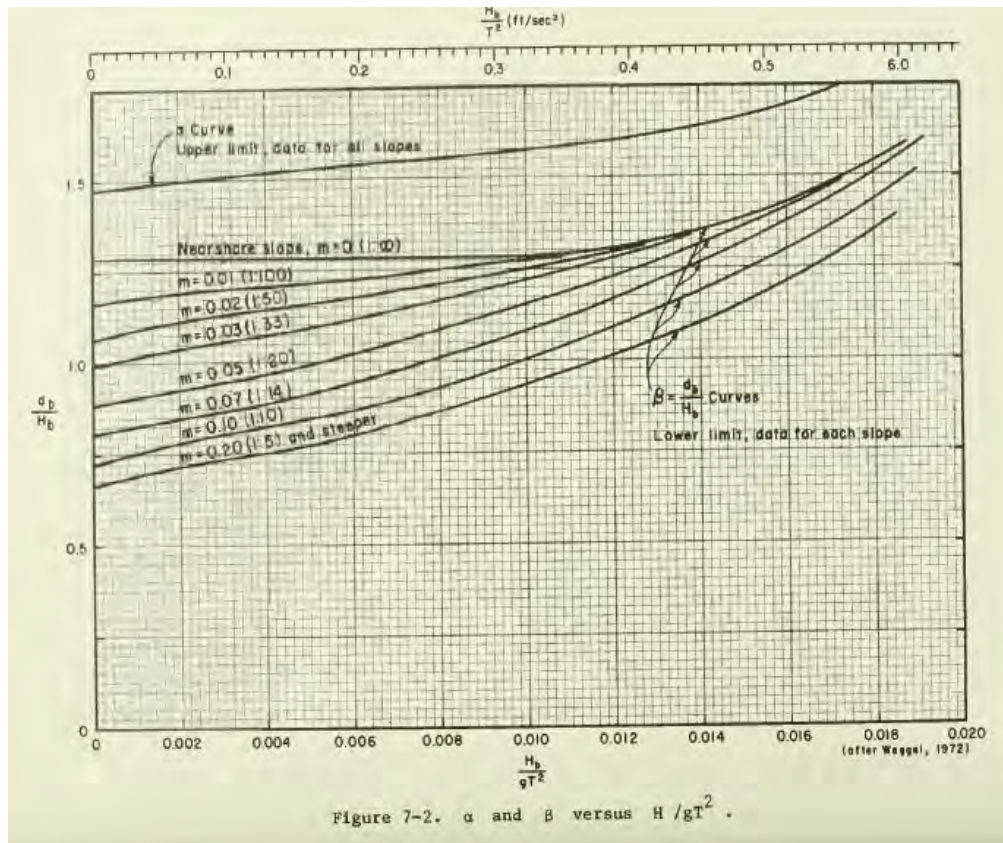
d_b : kedalaman gelombang pecah

H'_0 : tinggi gelombang laut dalam sebelum mengalami refraksi

H_0 : tinggi gelombang laut dalam

L_0 : gT^2 panjang gelombang laut dalam

m : kemiringan dasar laut (*slope*)



Gambar 3.5. Kurva Perhitungan Kedalaman Gelombang Pecah
(Sumber: Weggel, 1972)

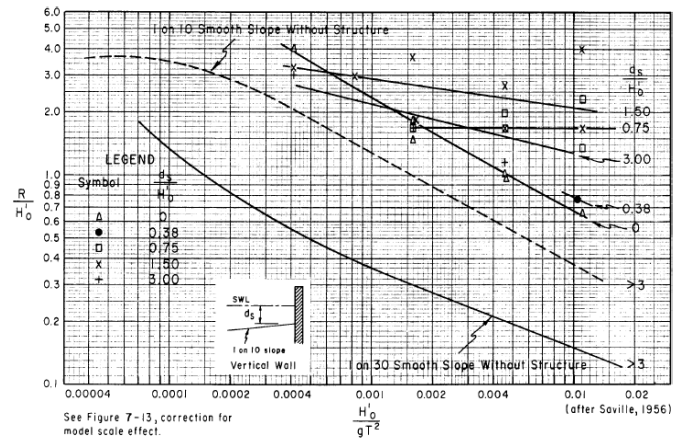
2.2.3.5 Perhitungan *Wave Set Down* dan *Wave Set Up*

Untuk melakukan perhitungan *wave set down* dan *wave set up*, peneliti menggunakan rumus pada Persamaan 2.28 dan 2.31. Parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan ini adalah periode gelombang (T) dan tinggi gelombang pecah sebelum struktur dibangun (H_b). Dalam hal ini, peneliti menggunakan periode gelombang kala ulang 50 tahun. Peneliti juga membagi perhitungan *wave set down* dan *wave set up* ini menjadi 3. Pembagian ini dilakukan sesuai pias hasil analisa refraksi sebelumnya.

2.2.3.6 Analisa *Wave Run up*

Perhitungan *wave run up* gelombang pada Tugas Akhir ini menggunakan grafik hasil penelitian Seville (1956) yang ditunjukkan oleh Gambar 3.6. Parameter yang diperlukan untuk menghitung adalah periode gelombang T , kedalaman struktur

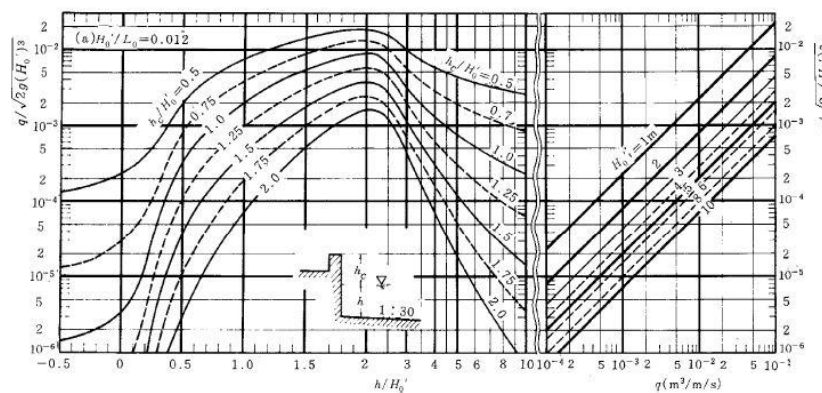
D , tinggi gelombang laut dalam yang tidak mengalami refraksi H_0 . Periode gelombang T diambil dari periode kala ulang 50 tahun dan parameter H_0 didapatkan dari hasil analisa refraksi sebelumnya. Analisa ini dilakukan untuk mengetahui terjadinya *overtopping* pada struktur.



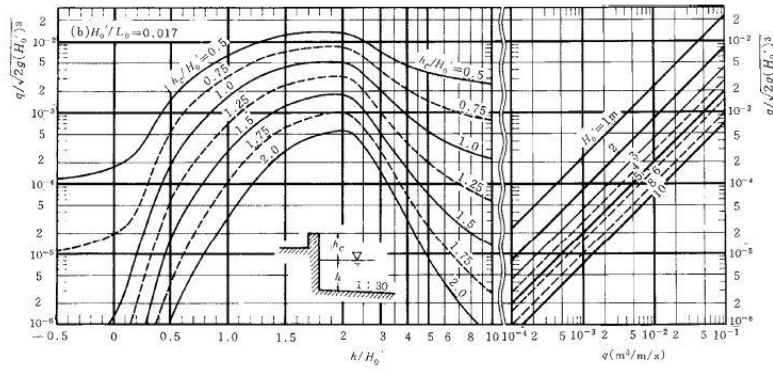
Gambar 3.6. Kurva Perhitungan *Run Up* untuk Dinding Vertikal
(Sumber: Saville, 1962)

2.2.3.7 Perhitungan Volume *Overtopping*

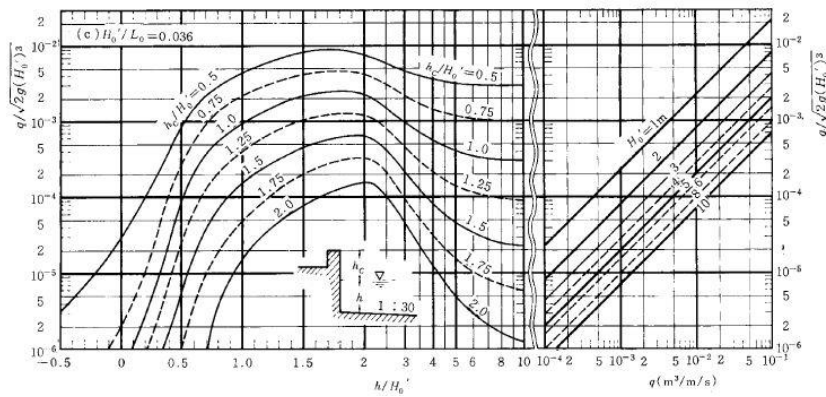
Untuk menghitung volume *overtopping*, parameter yang dibutuhkan adalah gelombang laut dalam yang tidak mengalami refraksi (H'_0), kedalaman struktur (h), panjang gelombang laut dalam (L_0), *slope* (m) dan ketinggian struktur di atas SWL (h_c). Peneliti menggunakan grafik perhitungan volume *overtopping* dari OCDI (2002) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.7 – 3.12.



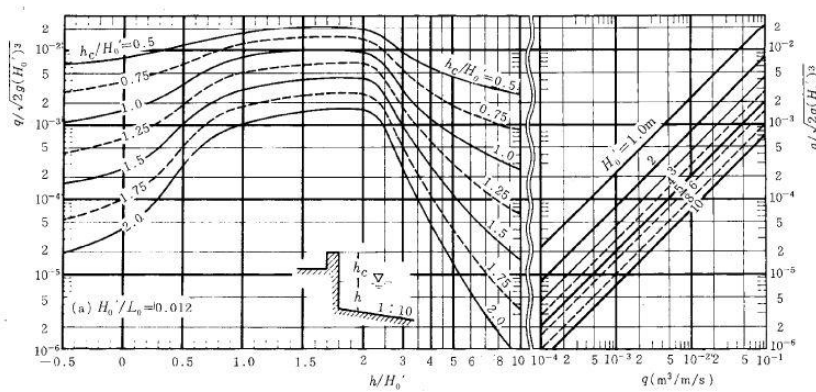
Gambar 3.7. Nilai *Overtopping* Dinding Vertikal untuk $H'_0/L_0 = 0,012$ dan $m=0,03$
(Sumber: OCDI, 2002)



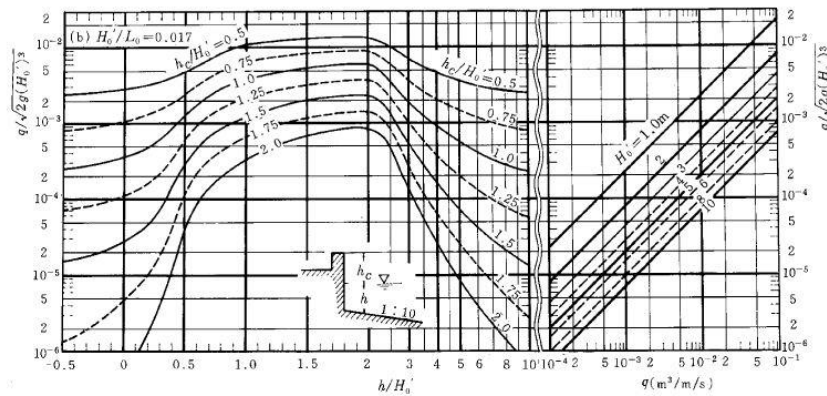
Gambar 3.8. Nilai *Overtopping* Dinding Vertikal untuk $H_o'/L_o = 0,017$ dan $m=0,03$
(Sumber: OCDI, 2002)



Gambar 3.9. Nilai *Overtopping* Dinding Vertikal untuk $H_o'/L_o = 0,036$ dan $m=0,03$
(Sumber: OCDI, 2002)

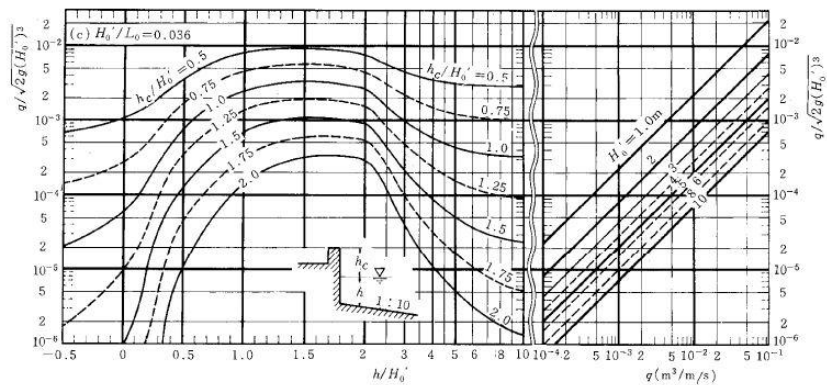


Gambar 3.10. Nilai *Overtopping* Dinding Vertikal untuk $H_o'/L_o = 0,012$ dan
 $m=0,01$
(Sumber: OCDI, 2002)



Gambar 3.11. Nilai *Overtopping* Dinding Vertikal untuk $H_o/L_o = 0,017$ dan $m=0,01$

(Sumber: OCDI, 2002)



Gambar 3.12. Nilai *Overtopping* Dinding Vertikal untuk $H_o/L_o = 0,036$ dan $m=0,01$

(Sumber: OCDI, 2002)

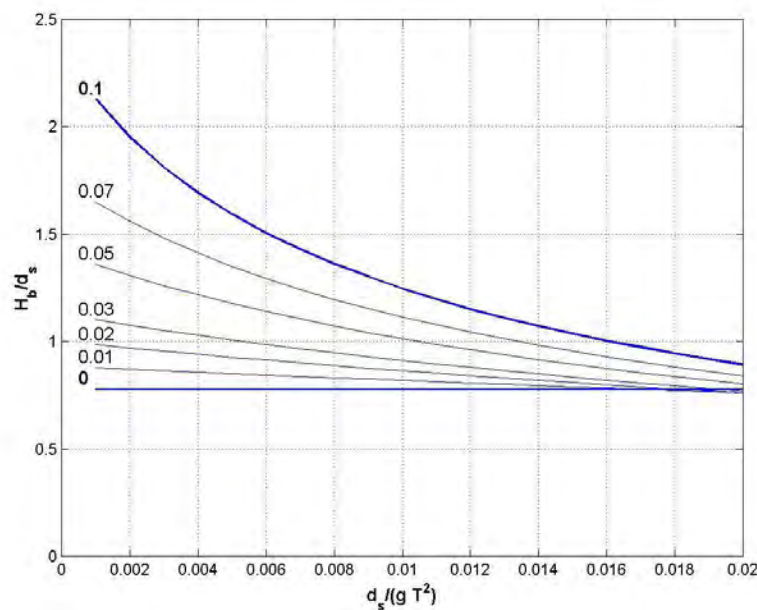
3.2.4 Perhitungan Beban Gelombang

Setelah melakukan perhitungan karakteristik gelombang, maka peneliti akan menghitung beban gelombang pada struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati. Dalam perhitungan ini, peneliti menggunakan dua metode yaitu metode yang diperkenalkan oleh Minikin dan Goda. Hasil perhitungan dari kedua metode ini selanjutnya akan dibandingkan dan digunakan sebagai parameter untuk menentukan metode perhitungan gelombang yang tepat untuk struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati.

2.2.4.1 Perhitungan Beban Gelombang dengan Metode Minikin (1963)

Dalam perhitungan beban gelombang metode Minikin, parameter pertama yang dicari adalah panjang gelombang pada kedalaman struktur (L_{hs}) yang nantinya digunakan untuk menghitung D , yaitu kedalaman yang diukur pada 1 jarak panjang gelombang di kedalaman struktur. Untuk menghitung L_{hs} dan D , diperlukan parameter panjang gelombang laut dalam L_o . Perhitungan L_{hs} dan D ini dilakukan dengan menggunakan tabel d/L yang terdapat pada buku Triatmodjo (1999).

Setelah L_{hs} dan D untuk masing-masing segmen *jetty* didapatkan, parameter selanjutnya yang harus dihitung adalah tinggi gelombang pecah yang menabrak struktur *jetty* (H_b). Dalam perhitungan (H_b) ini, peneliti menggunakan grafik hubungan antara h_s/gT^2 dan H_b/h_s , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13. Kurva Hubungan Antara d_s/gT^2 dan H_b/d_s

(Sumber: Weggel, 1972)

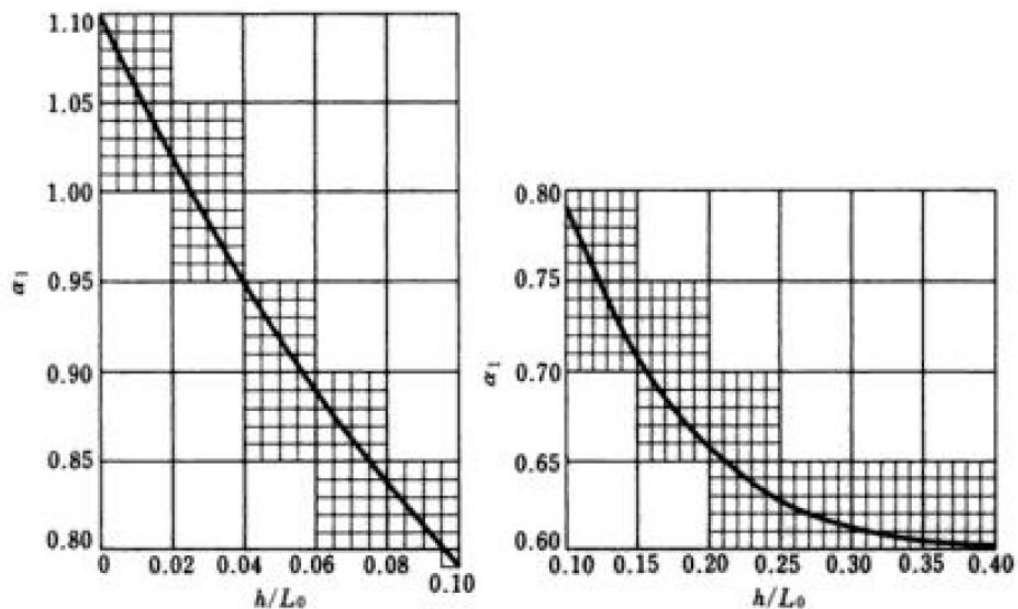
Setelah semua parameter didapatkan, beban gelombang yang menghantam struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.34 – 2.36. Beban gelombang yang dihitung yaitu tekanan dan gaya yang mengenai struktur. Tekanan dan gaya gelombang untuk metode Minikin dibagi menjadi dua yaitu tekanan dan gaya gelombang dinamik dan hidrostatik. Tekanan

dan gaya gelombang total yang mengenai struktur adalah jumlah dari tekanan dan gaya gelombang hidrostatik dan dinamik.

2.2.4.2 Perhitungan Beban Gelombang dengan Metode Goda (1974)

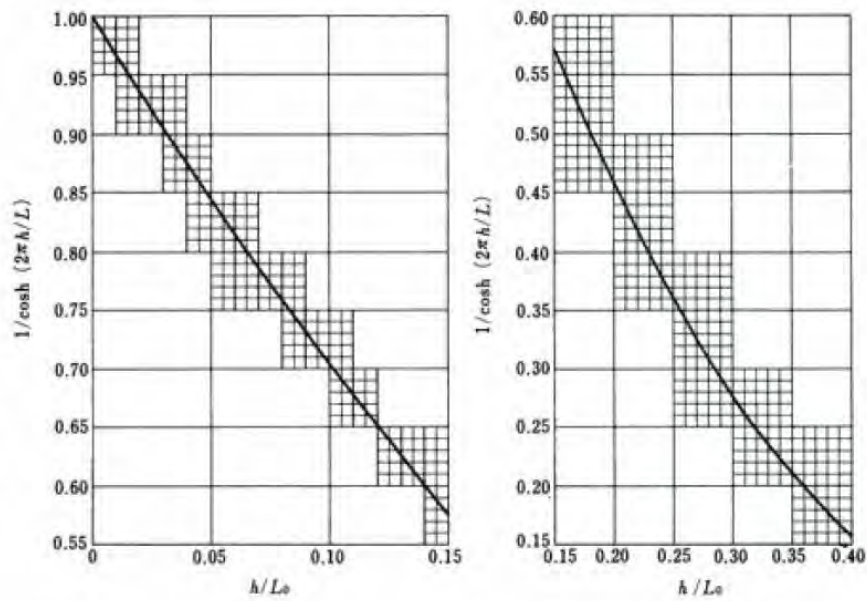
Berbeda dengan metode Minikin, tinggi gelombang yang digunakan dalam metode Goda adalah tinggi gelombang maksimum yang diukur pada jarak $5H_s$, sehingga perhitungan tinggi gelombang pecah atau tinggi gelombang maksimum H_{max} dan kedalamannya (h_b) tidak bisa menggunakan grafik Weggel. Perhitungan H_{max} dan h_b masing-masing dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.43 dan 2.50.

Sebelum menghitung tekanan gelombang, parameter yang harus dihitung terlebih dahulu adalah α_1 , α_2 , α_3 dan α_4 . Untuk menghitung α_4 , perhitungan elevasi muka air η^* juga diperlukan. Perhitungan α_1 , α_2 , α_3 , α_4 dan η^* dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.45 – 2.48 dan Persamaan 2.49. Meski demikian, perhitungan α_1 dan faktor $1/\cosh(2\pi H/L)$ juga bisa menggunakan grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 3.14 dan 3.15.



Gambar 3.14 Diagram Perhitungan untuk Parameter α_1

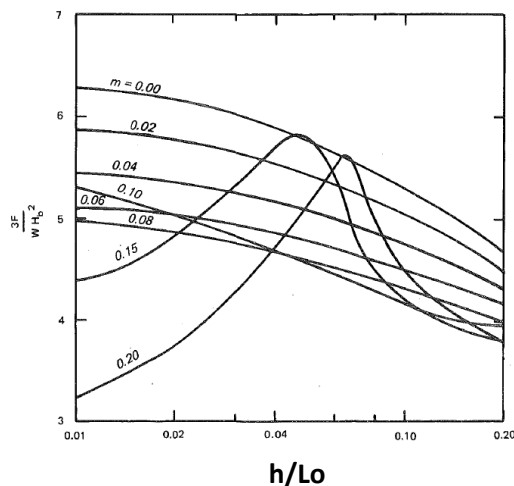
(Sumber: Goda, 1974)



Gambar 3.15. Diagram Perhitungan untuk Faktor $1/\cosh(2\pi H/L)$

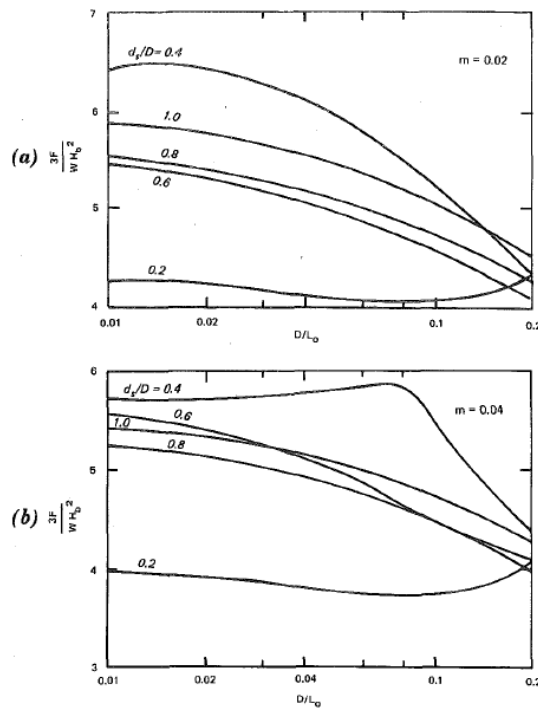
(Sumber: Goda, 1974)

Pada perhitungan α_2 , jika bangunan adalah dinding vertikal tanpa kaki, maka nilai d , h' dan h adalah sama. Untuk dinding vertikal tanpa kaki, P_2 dan P_u tidak perlu dihitung. Sementara itu, untuk menghitung gaya horizontalnya, peneliti menggunakan hubungan gaya gelombang horizontal F dengan h/Lo dengan variasi m yang ditunjukkan pada Gambar 3.16 dan 3.17.



Gambar 3.16. Dimensi Variasi Gaya Gelombang dengan Kemiringan Dasar Laut untuk $d/h = 1$, Metode Goda

(Sumber: Ocean Engineering Book, 1989)



Gambar 3.17. Dimensi Gaya Gelombang dengan variasi d_s/D , Metode Goda: (a) $m = 0,02$; (b) $m = 0,04$

(Sumber: Ocean Engineering Book, 1989)

3.2.5 Pemilihan Metode Perhitungan Beban Gelombang yang Sesuai

Untuk menentukan perhitungan beban gelombang yang sesuai, peneliti tidak hanya menggunakan hasil perhitungan beban gelombang dari kedua metode, tapi juga berdasarkan rekomendasi dari beberapa peneliti sebelumnya.

Setelah menentukan metode perhitungan beban gelombang yang sesuai untuk struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati, peneliti lalu melakukan analisa pengecilan beban gelombang pada struktur. Hal ini dilakukan agar struktur tidak menerima beban terlalu besar. Untuk melakukan variasi beban gelombang ini, peneliti melakukan analisa dari rumus perhitungan beban gelombang Metode Minikin yang ditunjukkan oleh Persamaan 2.34.

3.2.6 Kesimpulan

Pada tahap ini, peneliti akan menampilkan hasil akhir analisa agar peneliti selanjutnya dapat mengembangkan dan memberikan saran.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Lokasi Studi

Lokasi yang menjadi obyek studi dari penelitian Tugas Akhir ini adalah *water intake canal* PLTGU Grati yang terletak di Desa Wates, Kecamatan Lekok, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Wilayah Kecamatan Lekok merupakan wilayah pesisir yang dikelilingi oleh Selat Madura, sedangkan secara geografis PLTGU Grati terletak di $113^{\circ} 00' 35,5''$ - $113^{\circ} 02' 06,2''$ bujur timur dan $7^{\circ} 39' 10,6''$ - $07^{\circ} 39' 11,6''$ lintang selatan. Lokasi PLTGU Grati memiliki area seluas ± 73 hektar, dengan area pantai seluas 38 hektar dan area reklamasi seluas 35 hektar.

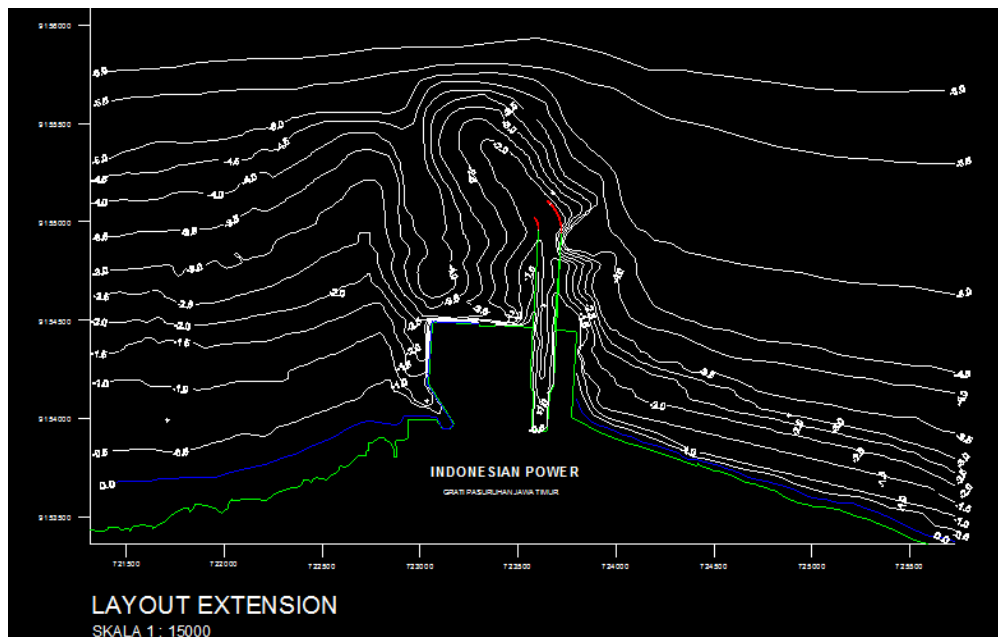


Gambar 4.1. Lokasi Studi

(Sumber: www.google.co.id/maps)

4.2. Peta Batimetri

Peta batimetri yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini berasal dari data sekunder yang merupakan peta topografi batimetri bulan Nopember 2014. Peta batimetri hasil pengukuran akan disajikan dengan interval kontur 0,5 meter. Berdasarkan peta batimetri, diketahui kedalaman perairan pada struktur perpanjangan *jetty* PTGU Grati berada di rentang 2 hingga 3 meter. Data batimetri ini selanjutnya digunakan untuk analisa refraksi dan gelombang pecah.



Gambar 4.2. Peta Batimetri PLTGU Grati

4.3. Data Pasang Surut

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, data pasang surut yang digunakan berasal dari hasil survei lapangan. Hasil dari data survei tersebut adalah :

HHWS (Highest High Water Spring)	: 286 cm
MHWS (Mean High Water Spring)	: 212 cm
MSL (Mean Sea Level)	: 143 cm
MLWS (Mean Low Water Spring)	: 74 cm
LLWS (Lowest Low Water Spring)	: 0 cm

4.4. Data Gelombang

Data gelombang yang digunakan dalam analisa ini berasal dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika. Data gelombang yang diperoleh adalah data gelombang selama 11 tahun dari tahun 2004 hingga tahun 2014. Dari data gelombang ini, dapat disimpulkan bahwa tinggi gelombang signifikan H_s adalah 0,966 m dengan periode T_s 6,26 detik dan arah gelombang dominan dari timur.

4.5. Karakteristik Gelombang

4.5.1. Teori Gelombang yang Sesuai

Dalam menentukan teori gelombang yang digunakan, parameter yang harus didapatkan terlebih dahulu adalah nilai dari kedalaman air di struktur d , tinggi gelombang dan periode gelombang signifikan, serta panjang gelombang di laut dalam L_o . Dengan menggunakan Persamaan 2.12, diketahui panjang gelombang di laut dalam (L_o) adalah sebesar 61 m. Sementara kedalaman air d dihitung dari elevasi struktur dari MSL ke *seabed*. Dengan menggunakan tabel d/L , d/L_o adalah 0,07253 sehingga d/L adalah 0,115.

Tabel 4.1. Nilai d/L untuk pertambahan nilai d/L_o

d/L_o	d/L	$2\pi d/L$	K_s	K	n
....
0,070	0,11394	0,7159	0,971	0,789	0,8627
0,071	0,11488	0,7218	0,969	0,786	0,8609
0,072	0,11582	0,7277	0,968	0,783	0,8591
0,073	0,11675	0,7336	0,966	0,781	0,8573
0,074	0,11769	0,7394	0,964	0,777	0,8555
....

(Triatmodjo, 1999)

Dengan demikian, teori gelombang yang sesuai untuk kondisi lingkungan di lokasi pembangunan *jetty* PLTGU Grati adalah teori gelombang Airy seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.3.



Dari data gelombang sekunder, peneliti menghitung tinggi gelombang signifikan (H_s) untuk masing-masing tahun. Data tinggi gelombang dan periode signifikan untuk masing-masing tahun ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Tinggi Gelombang Signifikan 2004-2014

No.	Year	H, (m)	T, (s)
1	2004	1,160	6,630
2	2005	0,880	5,590
3	2006	0,900	6,290
4	2007	1,120	6,820
5	2008	1,070	6,440
6	2009	0,780	5,860
7	2010	0,510	4,860
8	2011	0,100	6,610
9	2012	1,070	6,210
10	2013	1,320	6,670
11	2014	1,720	6,850

Dari Tabel 4.2 di atas, data tinggi gelombang signifikan kemudian diurutkan dan diolah untuk menentukan tinggi dan periode gelombang kala ulang 50 tahun dengan menggunakan distribusi *Fisher Tippett I*. Dari hasil perhitungan, didapatkan tinggi dan periode gelombang dengan kala ulang 2 hingga 10 tahun yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 di bawah.

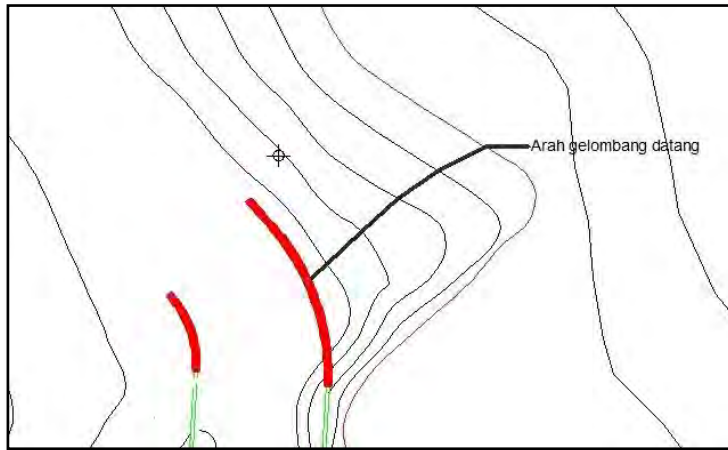
Tabel 4.3. Tinggi dan Periode Gelombang dengan Kala Ulang

T_r (years)	y_r (meter)	H_{sr} (meter)	T_{sr} (second)
2	0,3665	0,91	6,2014
5	1,4999	1,29	6,5589
10	2,2504	1,54	6,7956
15	2,6738	1,68	6,9291
20	2,9702	1,78	7,0227
25	3,1985	1,85	7,0947
50	3,9019	2,09	7,3166
75	4,3108	2,23	7,4455
100	4,6001	2,32	7,5368
150	5,0073	2,46	7,6652

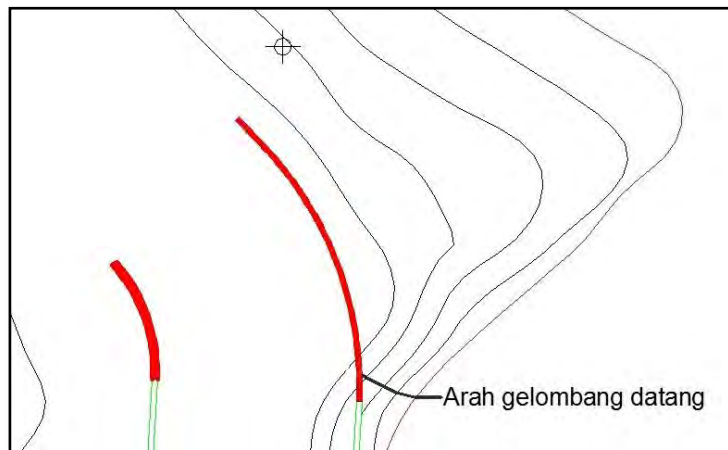
Dari Tabel 4.3 di atas, diketahui bahwa perkiraan tinggi gelombang dengan kala ulang 50 tahun adalah 2,09 meter dengan periode 7,32 detik. Hasil perhitungan kala ulang 50 tahun ini selanjutnya digunakan beban gelombang yang mengenai dinding vertikal struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati.

4.5.3. Hasil Analisa Refraksi

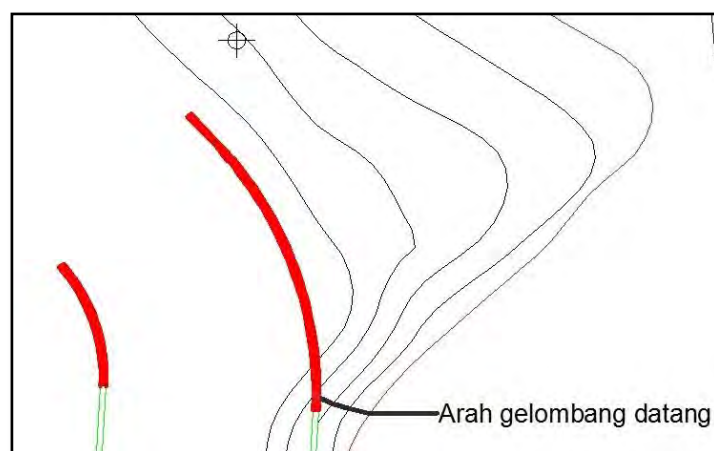
Berdasarkan perhitungan gelombang kala ulang 50 tahun, lokasi struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati mengalami hantaman gelombang yang datang dengan arah timur dengan tinggi gelombang 2,09 meter. Tinggi gelombang ini selanjutnya digunakan peneliti untuk menghitung refraksi dan menentukan arah penjalaran gelombang menuju struktur setelah mengalami pembelokan karena perubahan kontur dasar laut. Hasil perhitungan refraksi untuk masing-masing pias ditunjukkan pada tabel yang terdapat pada lampiran. Sedangkan arah gelombang datang pada masing-masing segmen struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati ditunjukkan oleh Gambar 4.4 – 4.6.



Gambar 4.4. Arah Gelombang Datang pada Segmen A yang Telah Mengalami Refraksi



Gambar 4.5. Arah Gelombang Datang pada Segmen B yang Telah Mengalami Refraksi



Gambar 4.6. Arah Gelombang Datang pada Segmen C yang Telah Mengalami Refraksi

4.5.4. Hasil Analisa Gelombang Pecah Sebelum Pembangunan Struktur

Dalam analisa gelombang pecah, peneliti menggunakan 3 pias refraksi gelombang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 – 4.6. Pias gelombang yang menabrak struktur segmen A, B, dan C direpresentasikan sebagai pias 1, 2 dan 3. Berdasarkan perhitungan sebelumnya, diketahui $T_o = 7,3$ sekon dan $slope\ m=0,03$. Untuk menghitung tinggi gelombang pecah dan kedalamannya, peneliti menggunakan kurva tinggi dan kedalaman gelombang pecah seperti yang ditunjukkan grafik pada Gambar 3.4 dan 3.5.

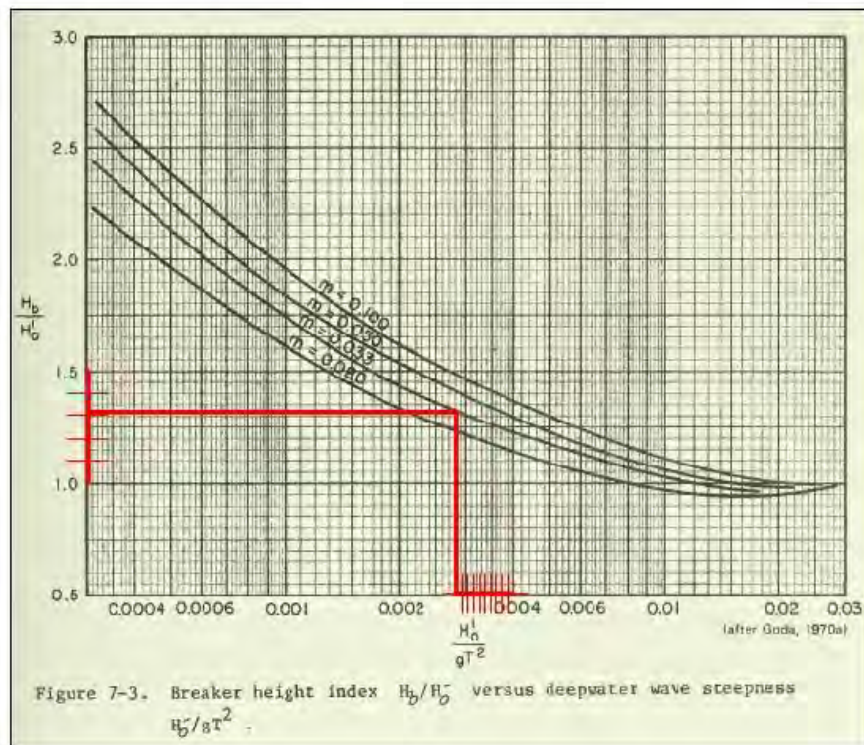
Kurva tinggi dan kedalaman gelombang pecah untuk masing-masing segmen *jetty* ditunjukkan oleh Gambar 4.7 – 4.12. Sementara itu, hasil perhitungan tinggi dan kedalaman gelombang pecah untuk masing-masing pias ditunjukkan oleh Tabel 4.4 – 4.5. Dari tabel tersebut, dapat disimpulkan bahwa gelombang struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati dibangun di depan *breaker zone*.

Tabel 4.4. Tinggi Gelombang Pecah untuk Masing-masing Pias

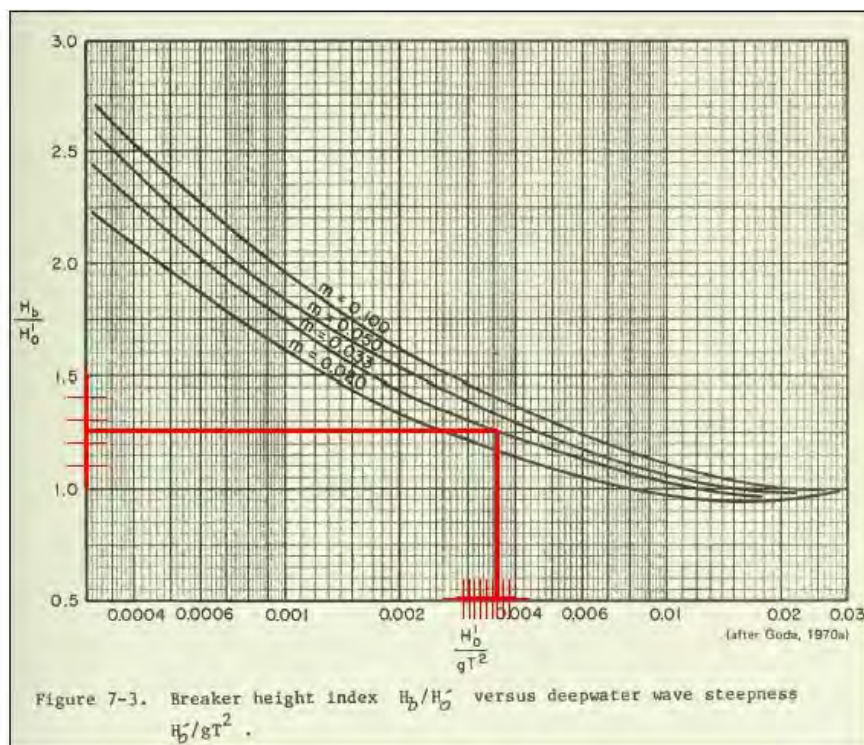
Pias	H'o (m)	H'o/gT ²	Hb/H'o	Hb (m)
1	1,649	0,0030	1,30	2,14
2	1,930	0,0037	1,25	2,41
3	1,973	0,0037	1,25	2,47

Tabel 4.5. Kedalaman Gelombang Pecah untuk Masing-masing Pias

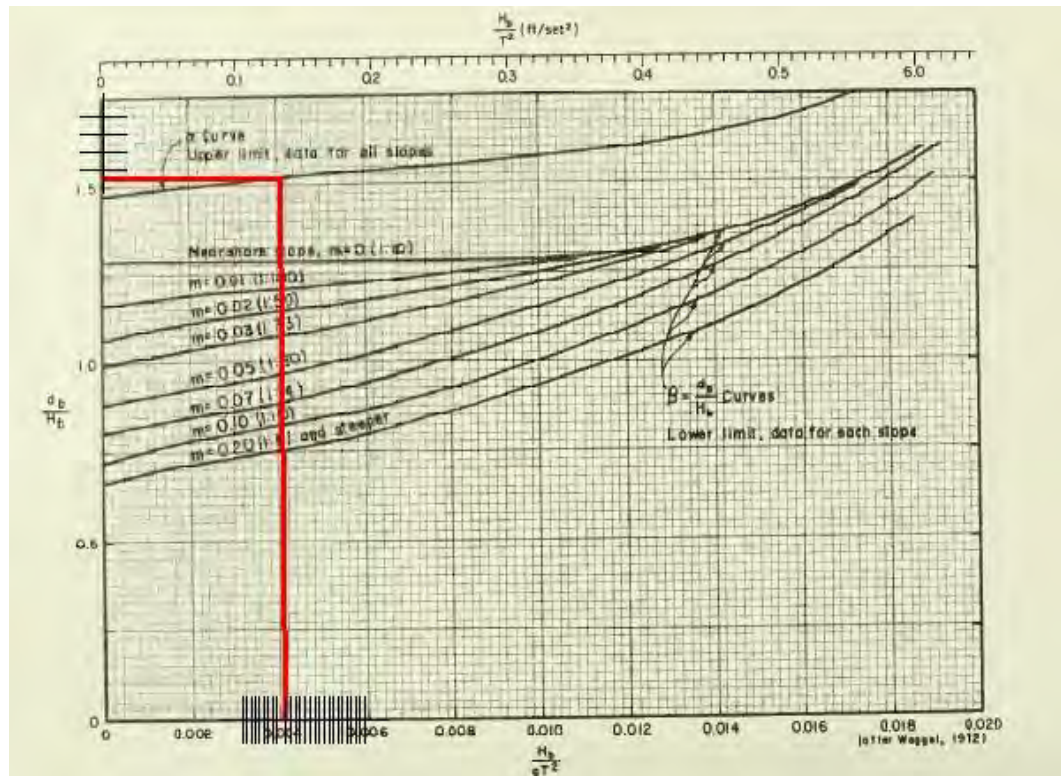
Pias	Hb	Hb/gT ²	db/Hb (min)	db (min)	db/Hb (max)	db (max)
1	2,14	0,0041	0,98	2,100826	1,55	3,322735
2	2,41	0,0046	1,10	2,65375	1,54	3,71525
3	2,47	0,0047	1,10	2,629	1,54	3,68060



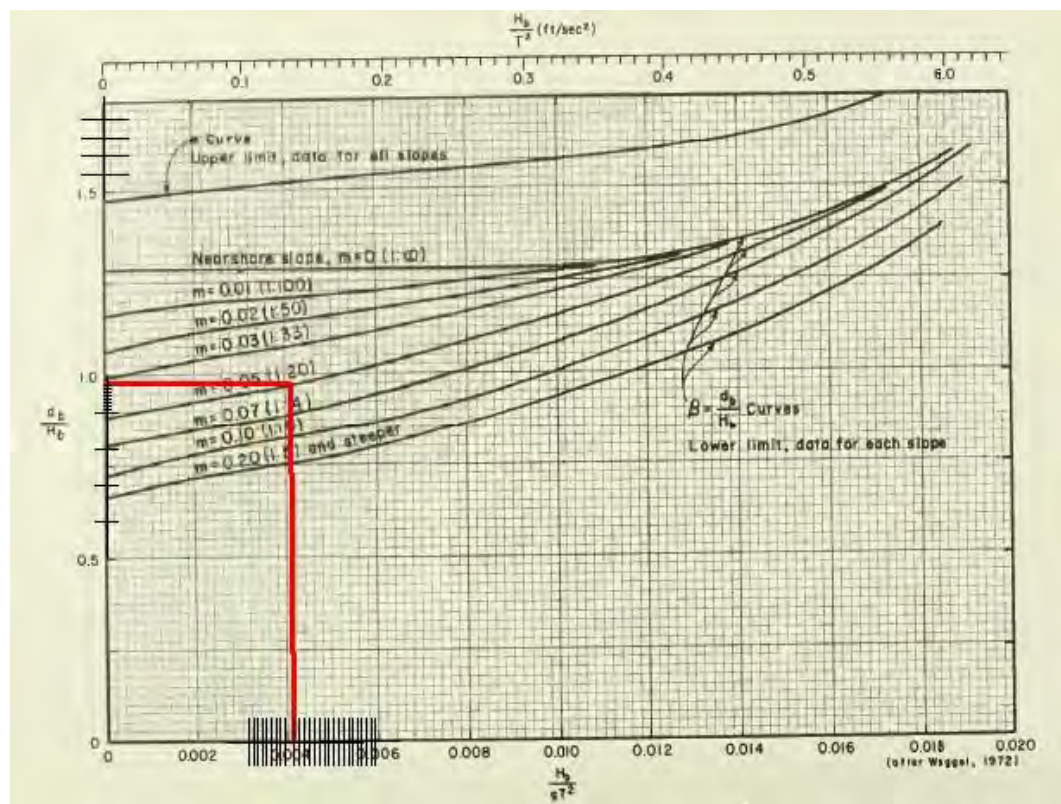
Gambar 4.7. Grafik Tinggi Gelombang Pecah untuk Pias 1



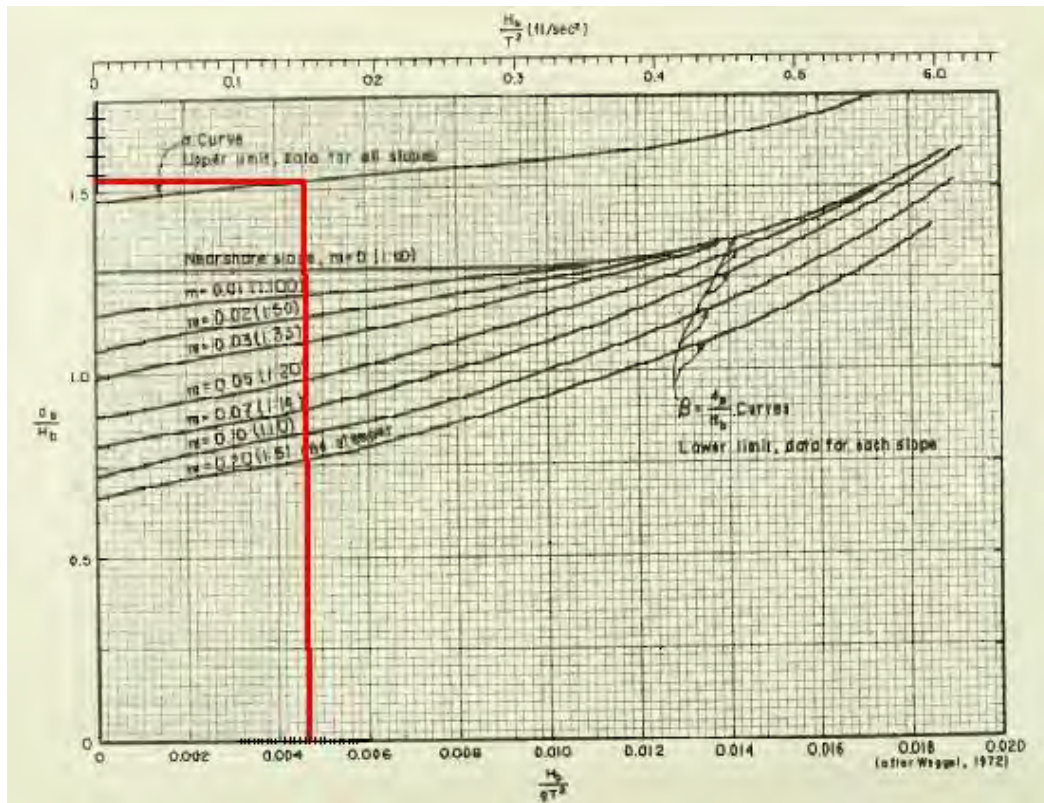
Gambar 4.8. Grafik Tinggi Gelombang Pecah untuk Pias 2 dan 3



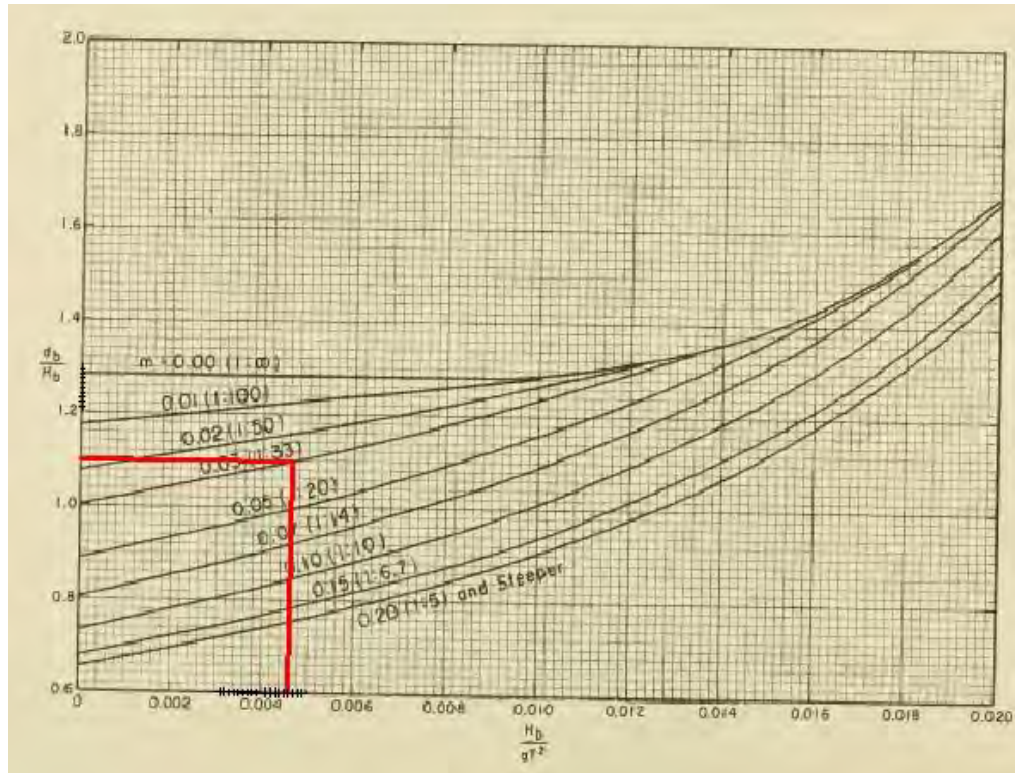
Gambar 4.9. Grafik Kedalaman Maksimum Gelombang Pecah untuk Pias 1



Gambar 4.10. Grafik Kedalaman Minimum Gelombang Pecah untuk Pias 1



Gambar 4.11. Grafik Kedalaman Maksimum Gelombang Pecah untuk Pias 2 dan 3



Gambar 4.12. Grafik Kedalaman Minimum Gelombang Pecah untuk Pias 2 dan 3

4.5.5. Hasil Perhitungan *Wave Set Down* dan *Wave Set Up*

Hasil perhitungan *wave set down* dan *wave set up* ditunjukkan oleh Tabel 4.6 dan 4.7.

Tabel 4.6. Hasil Perhitungan *Wave Set Down*

Pias	T (s)	Hb (m)	g (m/s ²)	S _b (m)
1	7,3	2,144	9,8	-0,039
2	7,3	2,413	9,8	-0,042
3	7,3	2,390	9,8	-0,042

Tabel 4.7. Hasil Perhitungan *Wave Set Up*

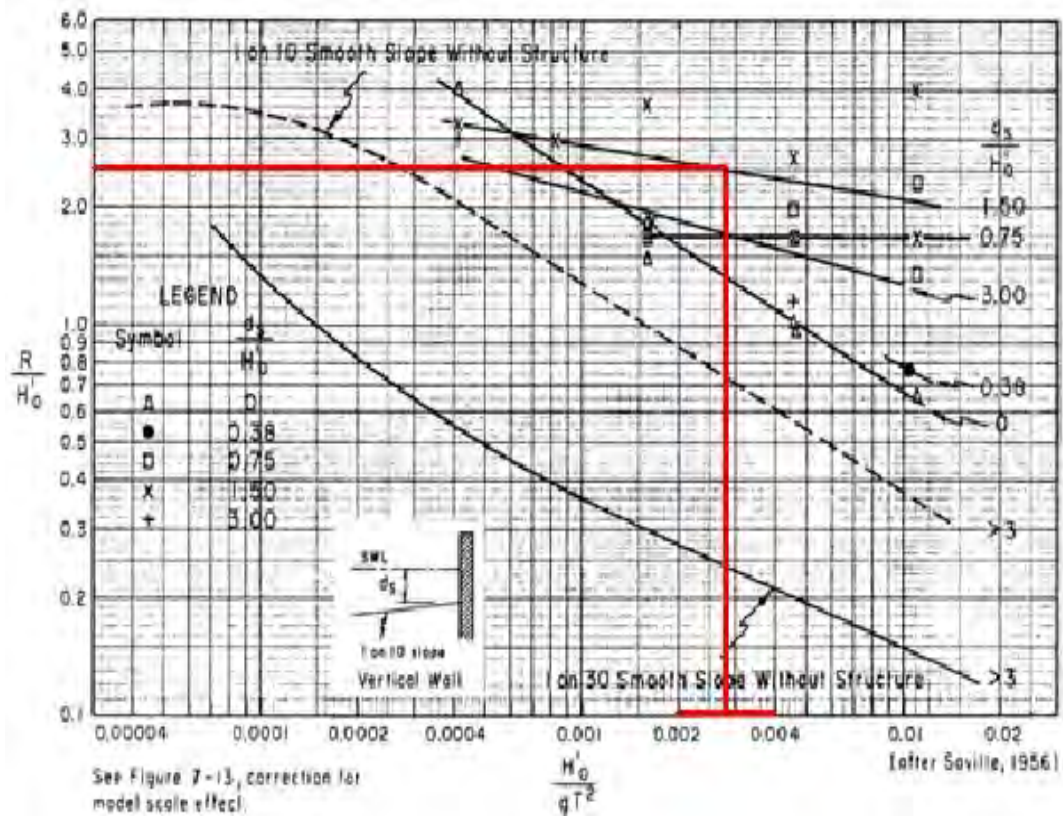
Pias	T (s)	Hb (m)	g (m/s ²)	S _w (m)
1	7,3	2,144	9,8	0,33
2	7,3	2,413	9,8	0,37
3	7,3	2,390	9,8	0,37

4.6. Hasil Analisa *Wave Run up*

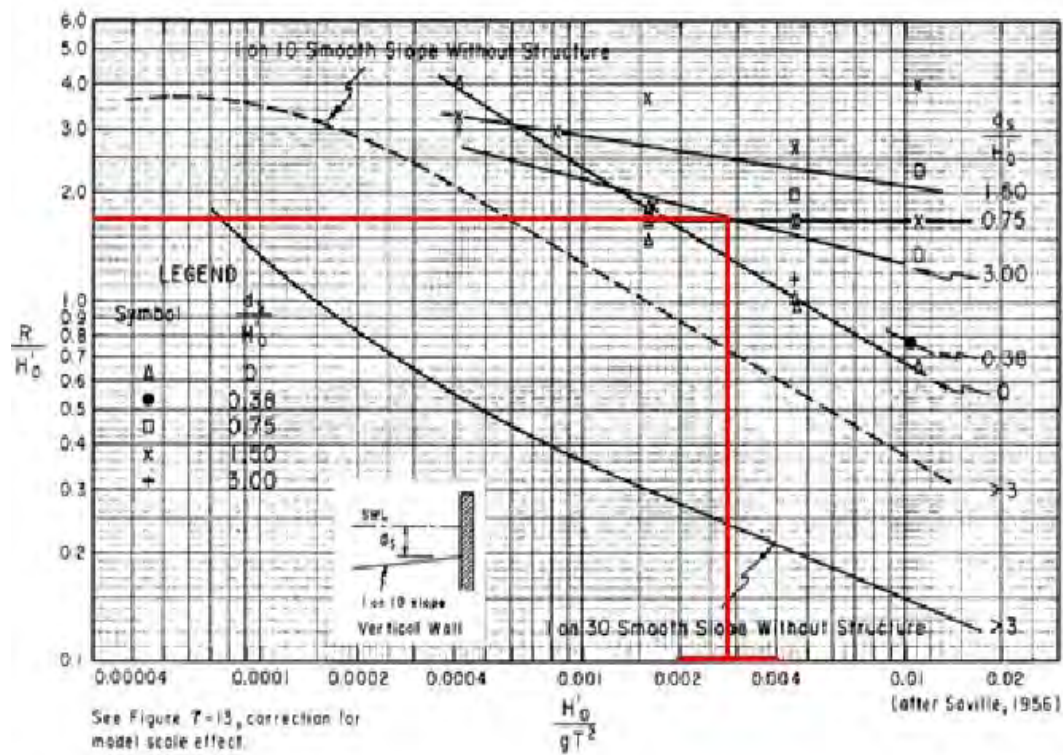
Perhitungan *wave run up* gelombang pada Tugas Akhir ini menggunakan grafik hasil penelitian Seville (1956). Parameter yang diperlukan untuk menghitung adalah periode gelombang T , kedalaman struktur D , tinggi gelombang laut dalam yang tidak mengalami refraksi H'_0 . Periode gelombang T diambil dari periode kala ulang 50 tahun yaitu 7,3 sekon. Sementara itu, parameter H'_0 didapatkan dari hasil analisa refraksi yang terdapat pada lampiran. Hasil perhitungan *wave run up* gelombang lalu disajikan pada Tabel 4.8. Nilai R/H_0 pada Tabel 4.8 didapatkan dari hasil interpolasi grafik perhitungan *wave run up* saat $d_s/H_0 = 1,5$ dan $d_s/H_0 = 3$. Dari Tabel 4.4 tersebut, diketahui bahwa struktur perpanjangan *jetty* segmen A tidak mengalami *overtopping*, sedangkan struktur perpanjangan *jetty* segmen B dan C mengalami *overtopping*.

Tabel 4.8. Hasil Perhitungan *Wave Run up* Gelombang Struktur Perpanjangan *Jetty* PLTGU Grati

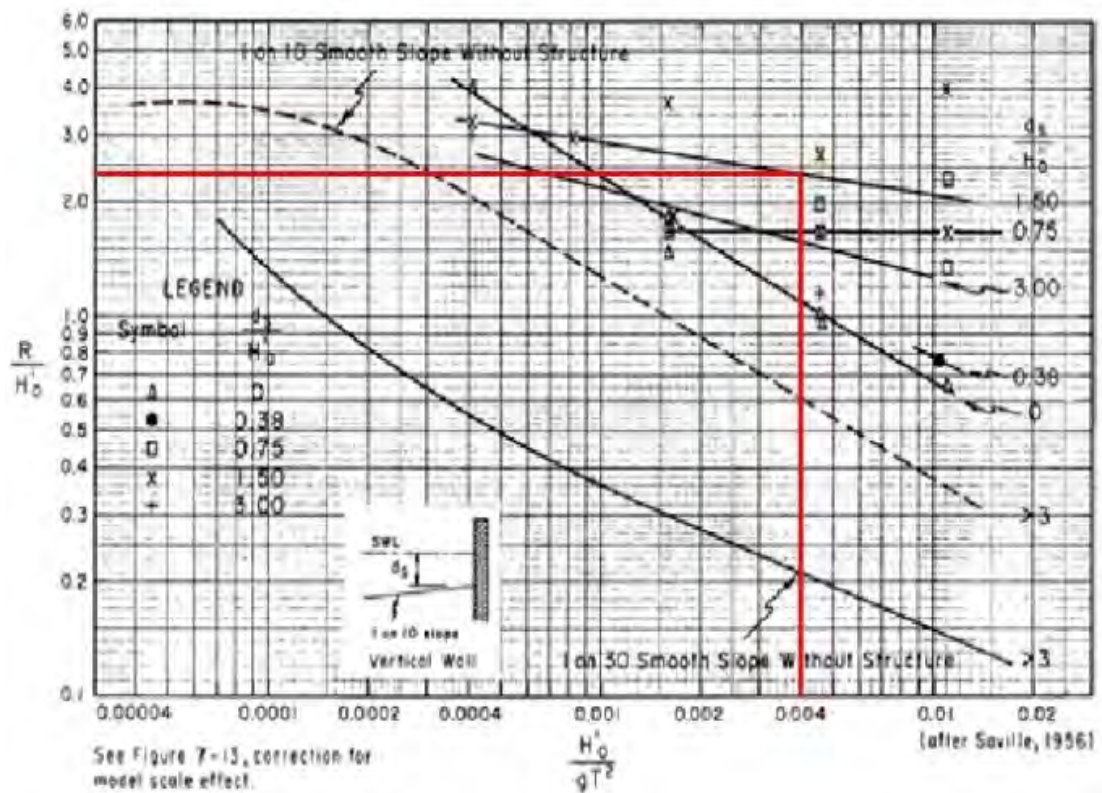
Segmen	H'o (m)	R (m)	Tinggi Struktur dari SWL (m)	Result
A	1,649	3,84	4,57	<i>No overtopping</i>
B	1,930	4,08	4,07	<i>Overtopping</i>
C	1,912	3,76	3,57	<i>Overtopping</i>



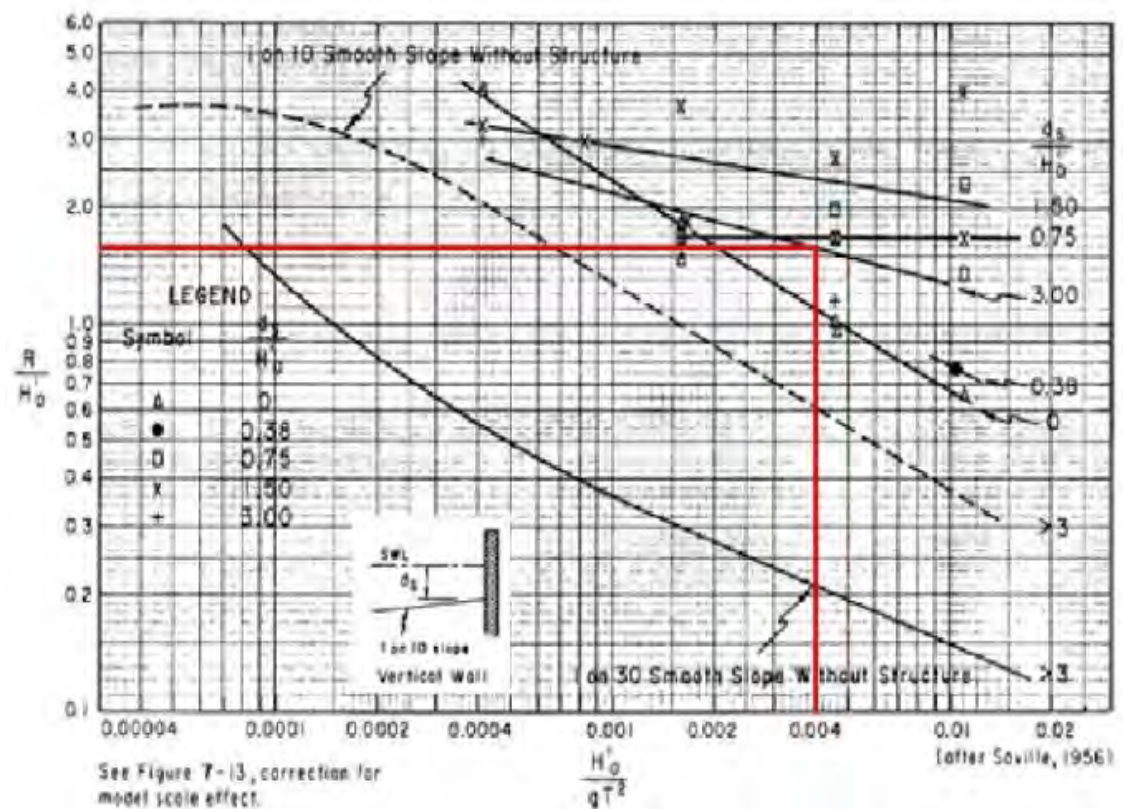
Gambar 4.13. Grafik Perhitungan R/H_0 untuk $H_0/gT^2 = 0,003$ dan $d_s/H_0 = 1,5$



Gambar 4.14. Grafik Perhitungan R/H_0 untuk $H_0/gT^2 = 0,003$ dan $d_s/H_0 = 3$



Gambar 4.15. Grafik Perhitungan R/H_0 untuk $H_0/gT^2 = 0,004$ dan $d_s/H_0 = 1,5$



Gambar 4.16. Grafik Perhitungan R/H_0 untuk $H_0/gT^2 = 0,004$ dan $d_s/H_0 = 3$

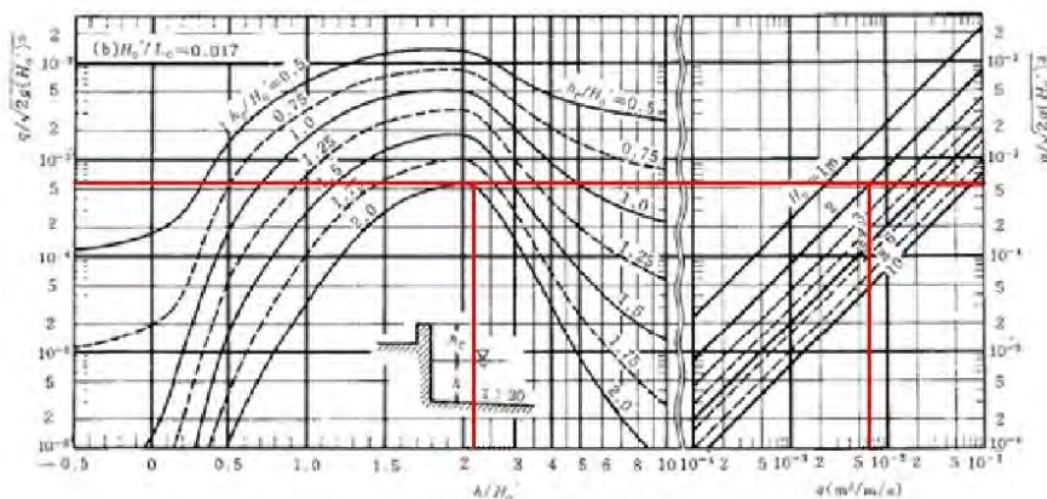
4.7. Hasil Perhitungan Volume Overtopping

Dari analisa *wave run up* sebelumnya, diketahui bahwa struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati yang mengalami *overtopping* adalah segmen B dan C. Peneliti menggunakan grafik perhitungan volume *overtopping* dari OCDI (2002) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.7 - 3.12. Grafik hasil perhitungan volume *overtopping* untuk segmen B dan C struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati ditunjukkan oleh Gambar 4.17 – 4.20 dan Tabel 4.9.

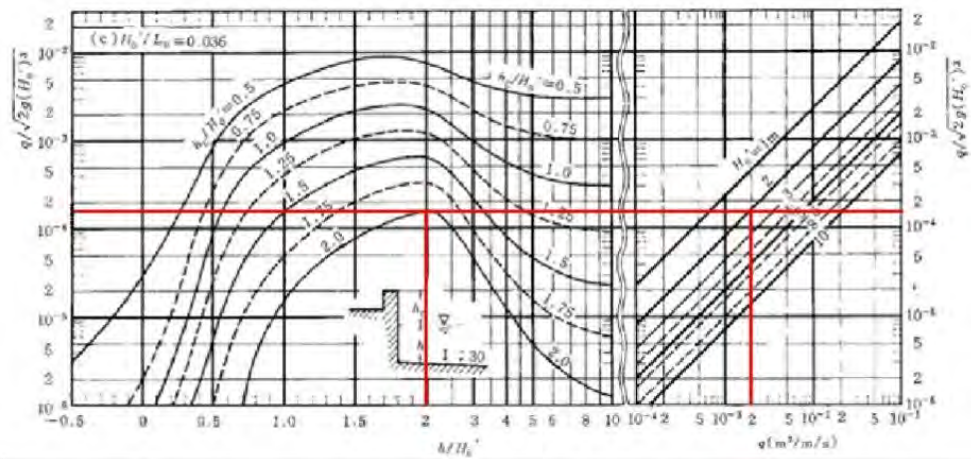
Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Volume *Overtopping* Struktur Perpanjangan *Jetty* PLTGU Grati

Segmen	H'o (m)	H'o/Lo	<i>m</i>	h (m)	h _c (m)	q (m ³ /m/s)
B	1,930	0,023	0,03	3,93	4,07	0,048
C	1,973	0,024	0,03	4,43	3,57	0,039

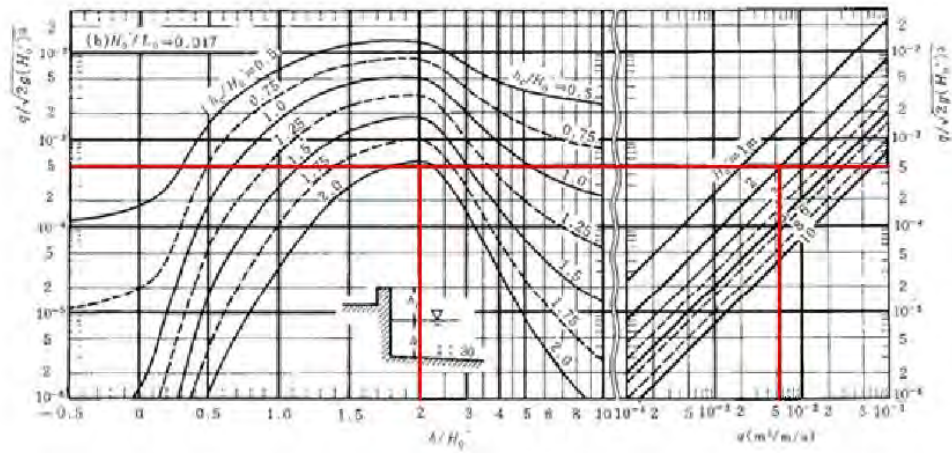
Berdasarkan volume *overtopping* tersebut, diketahui bahwa struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati aman untuk pejalan kaki dan dapat dilewati kendaraan dengan kecepatan rendah. Kondisi ini sesuai dengan batas volume *overtopping* yang ditunjukkan oleh Tabel 2.6 – 2.7. Pada kondisi sebenarnya, *jetty* eksisting PLTGU Grati sering dilewati oleh pemancing ikan. Bahkan beberapa di antaranya membawa sepeda atau motor.



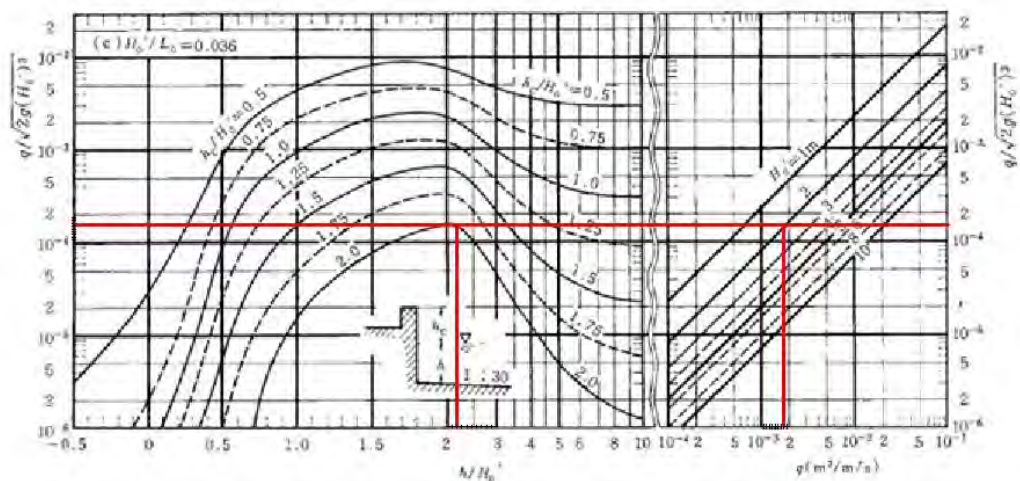
Tabel 4.17. Volume *Overtopping* Segmen B untuk $H'o/Lo = 0,017$ dan $m=0,03$



Tabel 4.18. Volume Overtopping Segmen B untuk $H'o/L_o = 0,036$ dan $m=0,03$



Tabel 4.19. Volume Overtopping Segmen C untuk $H'o/L_o = 0,017$ dan $m=0,03$



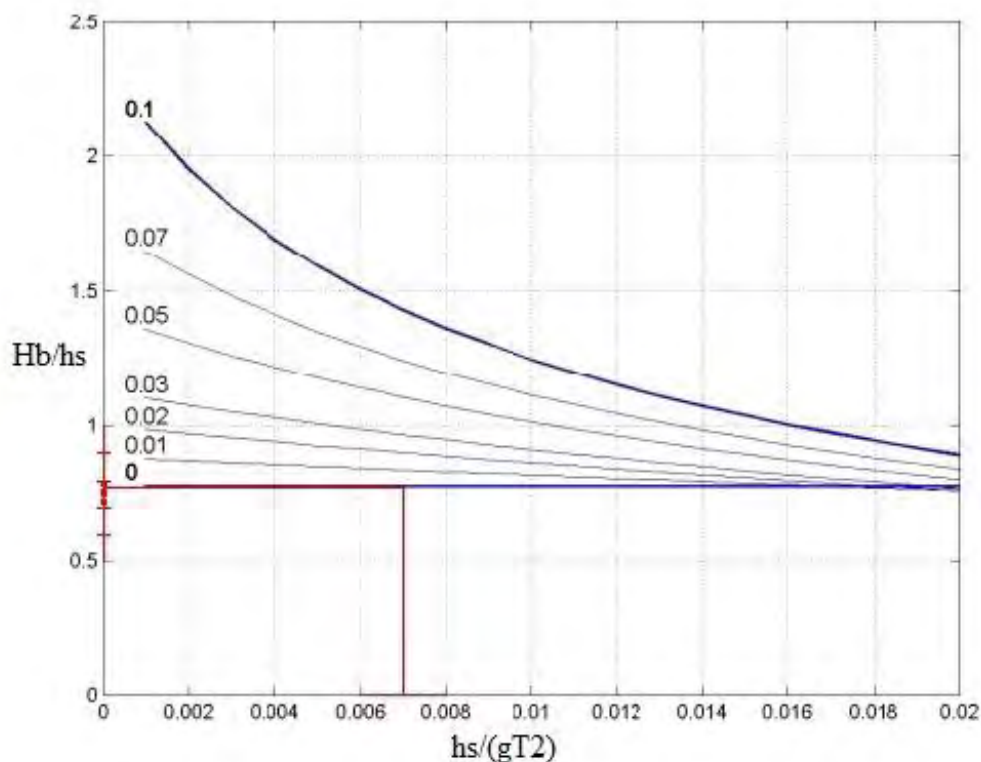
Tabel 4.20. Volume Overtopping Segmen C untuk $H'o/L_o = 0,036$ dan $m=0,03$

4.8. Hasil Perhitungan Beban Gelombang

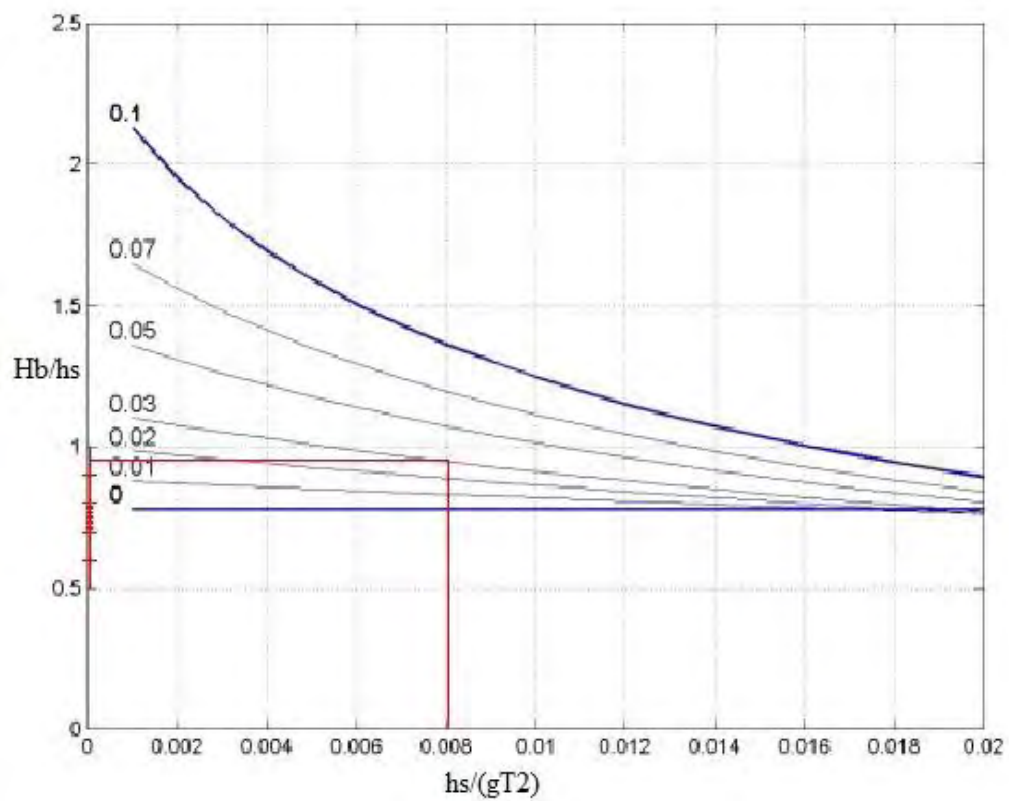
4.8.1. Hasil Perhitungan Beban Gelombang dengan Metode Minikin (1963)

Untuk menghitung beban gelombang metode Minikin, parameter yang harus dicari adalah panjang gelombang pada kedalaman struktur (L_{hs}), kedalaman air pada jarak 1 panjang gelombang di depan struktur (D) dan tinggi gelombang pecah pada lokasi struktur (H_b). Dalam perhitungan H_b , peneliti menggunakan grafik hubungan antara h_s/gT^2 dan H_b/h_s , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.21 – 4.23. Sementara itu, hasil perhitungan L_{hs} , D dan H_b ditunjukkan pada Tabel 4.10 – 4.12.

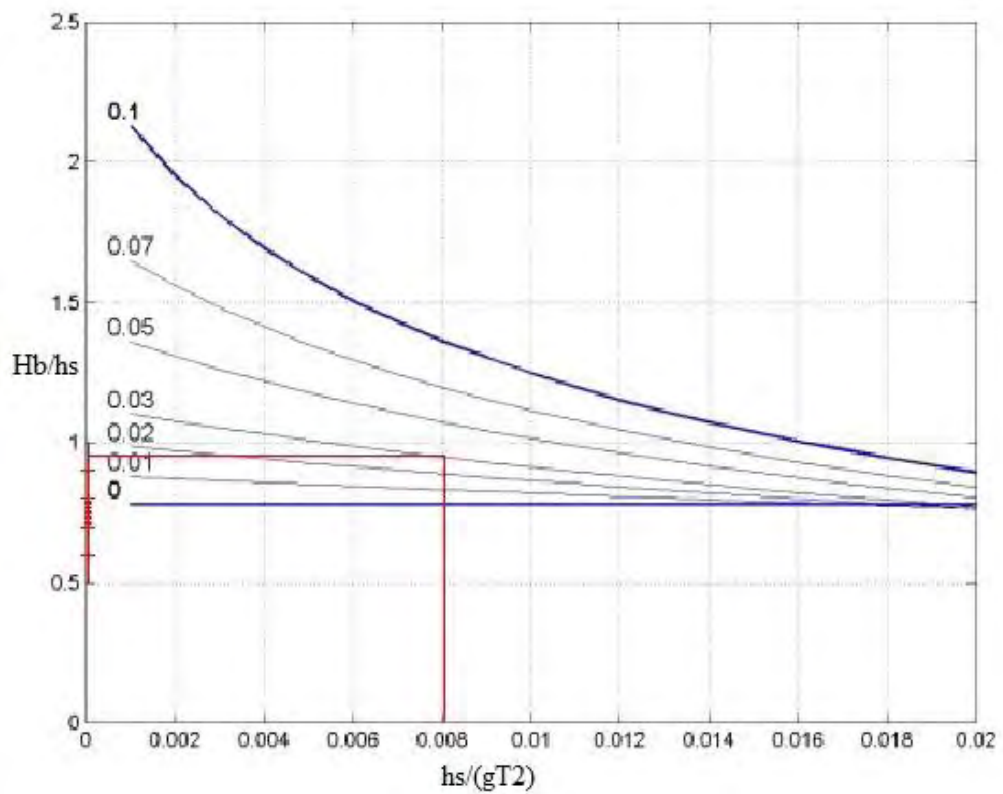
Setelah semua parameter didapatkan, beban gelombang yang menghantam struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati dapat dihitung. Beban gelombang yang dihitung yaitu tekanan dan gaya yang mengenai struktur. Tekanan dan gaya gelombang untuk metode Minikin dibagi menjadi dua yaitu tekanan dan gaya gelombang dinamik dan hidrostatik. Tekanan dan gaya gelombang total yang mengenai struktur adalah jumlah dari tekanan dan gaya gelombang hidrostatik dan dinamik. Hasil perhitungan tekanan dan gaya gelombang untuk metode Minikin ditunjukkan pada Tabel 4.13 dan 4.14.



Gambar 4.21. Grafik Hubungan h_s/gT^2 dan H_b/h_s Jetty Segmen A



Gambar 4.22. Grafik Hubungan h_s/gT^2 dan H_b/h_s Jetty Segmen B



Gambar 4.23. Grafik Hubungan h_s/gT^2 dan H_b/h_s Jetty Segmen C

Tabel 4.10. Hasil Perhitungan L_{hs} dan D untuk Setiap Segmen Struktur
Perpanjangan *Jetty* PLTGU Grati

Segmen	h_s (m)	h_s/L_0	h_s/L_s	L_s (m)	<i>Slope</i>	D (m)
A	3,43	0,041	0,08442	40,63	0	3,43
B	3,93	0,047	0,09098	43,20	0,03	5,23
C	4,43	0,053	0,09726	45,55	0,03	5,80

Tabel 4.11. Hasil Perhitungan L_D untuk Setiap Segmen Struktur Perpanjangan *Jetty*
PLTGU Grati

Segmen	D (m)	D/L_0	D/L_d	L_d (m)
A	3,43	0,041	0,08442	40,63
B	5,23	0,063	0,10724	48,73
C	5,80	0,070	0,11394	50,87

Tabel 4.12. Hasil Perhitungan H_b untuk Setiap Segmen Struktur Perpanjangan *Jetty*
PLTGU Grati

Segmen	h_s (m)	h_s/gT^2	H_b/h_s	H_b (m)
A	3,43	0,007	0,77	2,6411
B	3,93	0,008	0,95	3,7335
C	4,43	0,008	0,95	4,2085

Tabel 4.13. Hasil Perhitungan Tekanan Gelombang Total untuk Setiap Segmen
Struktur Perpanjangan *Jetty* PLTGU Grati

Segmen	P_m (kN/m)	$P_{Hidrostatik}$ (kN/m)	P_{Total} (kN/m)
A	0,452409279	0,048	0,500
B	0,535201053	0,058	0,593
C	0,655964479	0,066	0,722

Tabel 4.14. Hasil Perhitungan Gaya Gelombang Total untuk Setiap Segmen Struktur
Perpanjangan *Jetty* PLTGU Grati

Segmen	R_m (kN/m)	R_s (kN/m)	R_t (kN/m)
A	0,398286049	0,1133464	0,511632449
B	0,66605771	0,168767605	0,834825315
C	0,920208836	0,214442785	1,134651621

4.8.2. Hasil Perhitungan Beban Gelombang dengan Metode Goda (1974)

Dalam metode Goda, tinggi gelombang maksimum diukur pada jarak $5H_s$, sehingga perhitungan tinggi gelombang pecah atau tinggi gelombang maksimum H_{max} dan kedalamannya h_b tidak bisa menggunakan grafik Weggel. Karena rasio kedalaman struktur dan panjang gelombang laut dalam kurang dari 0,2, maka rumus perhitungan tinggi gelombang maksimum adalah $H_{max} = \min\{(\beta_0^*H_0 + \beta_1*h, \beta_{max}*H_0, 1,8KSH_0 \text{ dan } (hb=h+5.H13.slope))$. Hasil perhitungan H_{max} dan h_b untuk masing-masing segmen pada struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati ditunjukkan pada Tabel 4.15.

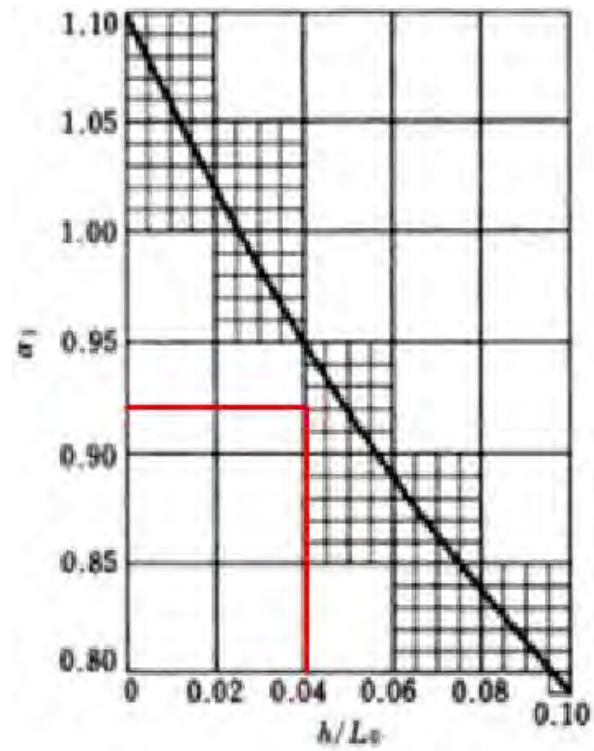
Tabel 4.15. Hasil Perhitungan H_{max} dan h_b untuk Setiap Segmen Struktur Perpanjangan *Jetty* PLTGU Grati

Segmen	H'o/Lo	H_{max} (m)	h_b (m)
A	0,019836	2,541258	3,43
B	0,023216	3,240129	4,21
C	0,022999	3,251883	4,71

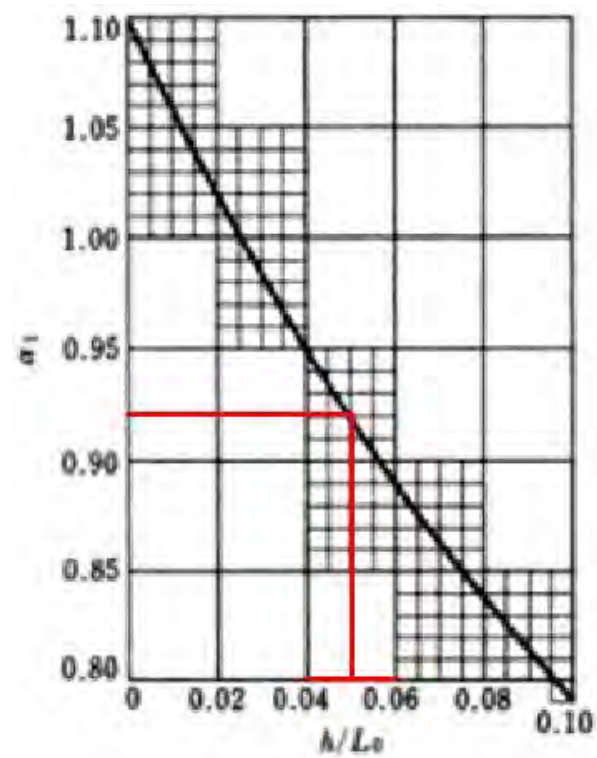
Sementara itu, untuk menghitung koefisien α_1 , α_2 , α_3 dan α_4 , sudut antara arah gelombang datang dan garis normal dinding vertikal (β) yang digunakan adalah 0 untuk kondisi *overtopping*. Jika terjadi *overtopping*, maka $\beta = 15^\circ$. Hasil perhitungan α_1 , α_2 , α_3 dan α_4 untuk masing-masing segmen pada struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati ditunjukkan pada Tabel 4.16 dan Gambar 4.24 – 4.25.

Tabel 4.16. Hasil Perhitungan H_{max} dan h_b untuk Setiap Segmen Struktur Perpanjangan *Jetty* PLTGU Grati

Segmen	α_1	α_2	α_3	α_4
A	0,95	0	0,87	0,000
B	0,92	0,015096	0,84	0,148
C	0,92	0,010603	0,84	0,268



Gambar 4.24. Nilai α_I untuk *Jetty* Segmen A



Gambar 4.25. Nilai α_I untuk *Jetty* Segmen B dan C

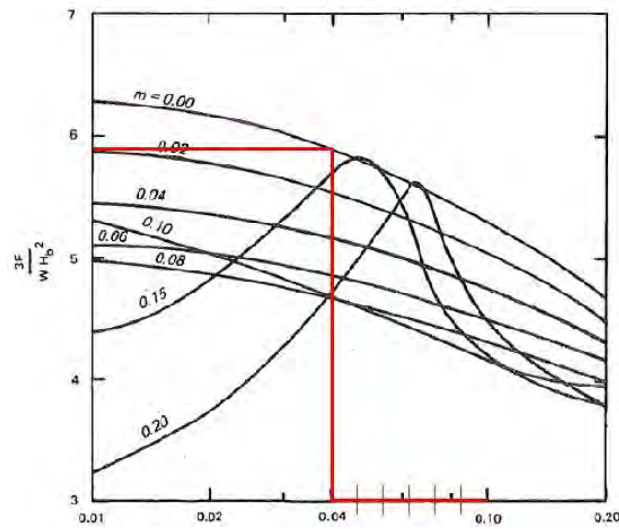
Pada perhitungan tekanan gelombang metode Goda, tekanan yang bisa dihitung untuk selanjutnya dibandingkan dengan perhitungan metode Minikin adalah P_1 , P_3 , dan P_4 . Ketiga tekanan horizontal tersebut selanjutnya dijumlahkan untuk mendapatkan tekanan total pada masing-masing segmen struktur *jetty* PLTGU Grati. Untuk perhitungan gaya gelombang, Goda tidak membuat rumus pendekatan empiris. Namun berdasarkan percobaan yang dilakukan oleh Chu (1989), gaya gelombang maksimum yang diterima struktur dapat dihitung menggunakan grafik hubungan antara h/L_o dan $3F/wH_b^2$ seperti pada Gambar 3.16. Meski demikian, gaya gelombang struktur *jetty* segmen B dan C tidak bisa langsung dihitung menggunakan grafik karena harus dilakukan interpolasi terlebih dahulu. Hal ini karena struktur *jetty* segmen B dan C berada pada $m = 0,03$, sedangkan variasi *slope* yang tersedia pada grafik hanya $m = 0,02$ dan $m = 0,04$. Hasil perhitungan tekanan dan gaya gelombang untuk metode Goda disajikan pada Tabel 4.17 – 4.18 dan Gambar 4.26 – 4.28.

Tabel 4.17. Hasil Perhitungan Tekanan Gelombang Total untuk Setiap Segmen Struktur Perpanjangan *Jetty* PLTGU Grati

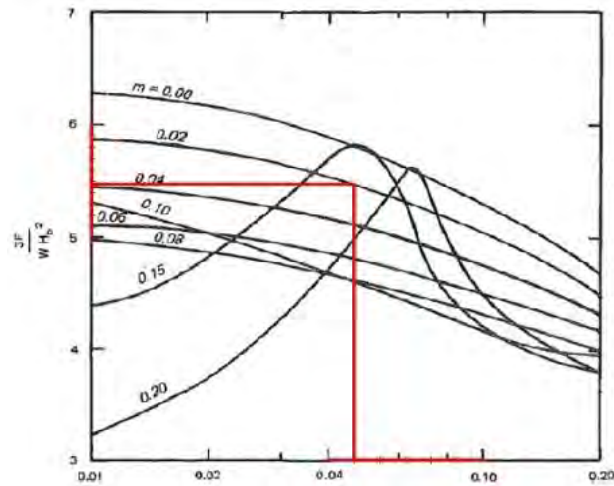
Segmen	P_1 (kN/m ²)	P_3 (kN/m ²)	P_4 (kN/m ²)	P_{total} (kN/m ²)
A	0,024250592	0,021098	0	0,123993126
B	0,030434653	0,0255651	0,004506472	0,181144719
C	0,030398287	0,0255346	0,008150275	0,192700441

Tabel 4.18. Hasil Perhitungan Gaya Gelombang untuk Setiap Segmen Struktur Perpanjangan *Jetty* PLTGU Grati

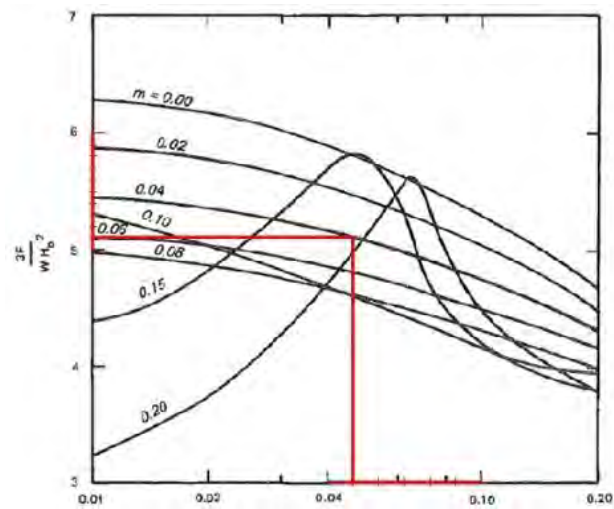
Segmen	h/L_o	$3F/wH_b^2$	F (kN)
A	0,02	5,9	0,1275787
B	0,02	5,3	0,186307
C	0,02	5,3	0,1876611



Gambar 4.26. Grafik Hubungan h/L_o dan $3F/wH_b^2$ pada Jetty Segmen A



Gambar 4.27. Grafik Hubungan h/L_o dan $3F/wH_b^2$ saat $m = 0,02$



Gambar 4.28. Grafik Hubungan h/L_o dan $3F/wH_b^2$ saat $m = 0,04$

4.8.3. Perbandingan Metode Minikin dan Metode Goda

Berdasarkan rumus tekanan dan gaya gelombangnya, metode Minikin dan Goda memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Perbedaan dari kedua metode tersebut ditunjukkan oleh Tabel 4.19.

Tabel 4.19. Perbedaan Karakteristik Metode Minikin dan Goda

No	Parameter	Metode MINIKIN	Metode GODA
1	Tekanan Gelombang (P)	Tekanan dibagi 2 yaitu tekanan dinamik dan tekanan hidrostatik . P_m adalah tekanan dinamik maksimum . (SPM, 1984)	Tekanan dibagi 3 yaitu tekanan di SWL (P1) , tekanan di puncak struktur (P4) , dan tekanan di dasar dinding (P3) . (Goda, 1974, 1985)
2	Distribusi Tekanan	Distribusi Parabolik (Chu, 1989)	Distribusi Linier (Chu, 1989)
		Distribusi tekanan hanya ada di sepanjang tinggi gelombang pecah (Chu 1989)	Distribusi tekanan dimulai dari dasar struktur hingga SWL, lalu berlanjut hingga setinggi puncak gelombang <i>wave run up</i> (Chu, 1989)
3	Tinggi Gelombang	Tinggi Gelombang Pecah (H_b). Gelombang pecah yang digunakan adalah gelombang pecah pada lokasi struktur. (Ergin dan Abdalla, 1993)	Tinggi gelombang yang digunakan adalah tinggi gelombang maksimum pada jarak $5H_s$ dari struktur (H_{max}). (Ergin dan Abdalla, 1993)
4	Pengaruh <i>Overtopping</i>	Metode Minikin sengaja dibuat untuk struktur yang mengalami <i>overtopping</i> . (Chu, 1989)	-
5	Pengaruh <i>Slope (m)</i>	Metode Minikin lebih sesuai jika digunakan untuk analisa gelombang pada <i>slope</i> > 0. (Kirkgoz, 1982) dalam. (Chu, 1989)	<i>Slope</i> yang semakin besar akan menghasilkan beban gelombang yang semakin besar pula. (Ergin dan Abdalla, 1993)
		<i>Slope</i> tidak memiliki efek yang signifikan pada hasil perhitungan beban gelombang metode Minikin. (Ergin dan Abdalla, 1993)	
6	Pengaruh Wave Steepness (H_o/Lo)	Beban gelombang cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya nilai wave steepness (Ergin dan Abdalla, 1993)	Beban gelombang cenderung menurun seiring dengan meningkatnya nilai <i>wave steepness</i> .
7	Pengaruh tinggi struktur pondasi <i>rubble mound</i> (D_s)	Beban gelombang cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya tinggi struktur pondasi <i>rubble mound</i>	Beban gelombang cenderung menurun seiring dengan meningkatnya tinggi struktur pondasi <i>rubble mound</i>
8	Struktur yang direkomendasikan	<i>Vertical walls</i> atau <i>composite breakwaters</i> dengan <i>rubble substructure</i> yang bersifat keras (<i>rigid</i>). (SPM, 1984)	<i>Composite Breakwaters</i> yang memiliki <i>rubble substructure</i> dan bersifat semi keras (<i>semi-rigid</i>). (Chu, 1989)

Hasil perhitungan tekanan dan gaya gelombang pada Tugas Akhir ini menunjukkan bahwa gaya dan tekanan gelombang yang dihitung menggunakan metode Minikin jauh lebih besar dibandingkan gaya dan tekanan gelombang yang dihitung dengan menggunakan metode Goda. Karena itulah, menurut Chu (1989) dan Kirkgoz (1982), perhitungan beban gelombang metode Minikin lebih cocok untuk kondisi overtopping dan slope $m > 0$. Selain itu, dalam penelitiannya Chu (1989) juga menyarankan untuk menggunakan metode Minikin untuk struktur rigid dan menggunakan metode Goda untuk struktur semi-rigid. Perbandingan hasil perhitungan metode Goda dan Minikin ditunjukkan pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20. Perbandingan Hasil Perhitungan Gaya Gelombang Metode Minikin dan Goda

Parameter	Metode Minikin			Metode Goda		
	A	B	C	A	B	C
Tekanan Gelombang (kN)	0,452	0,535	0,656	0,024	0,030	0,030
Gaya Gelombang (kN/m ²)	0,398	0,666	0,920	0,128	0,186	0,188

4.8.4. Penentuan Metode Perhitungan Gelombang yang Sesuai

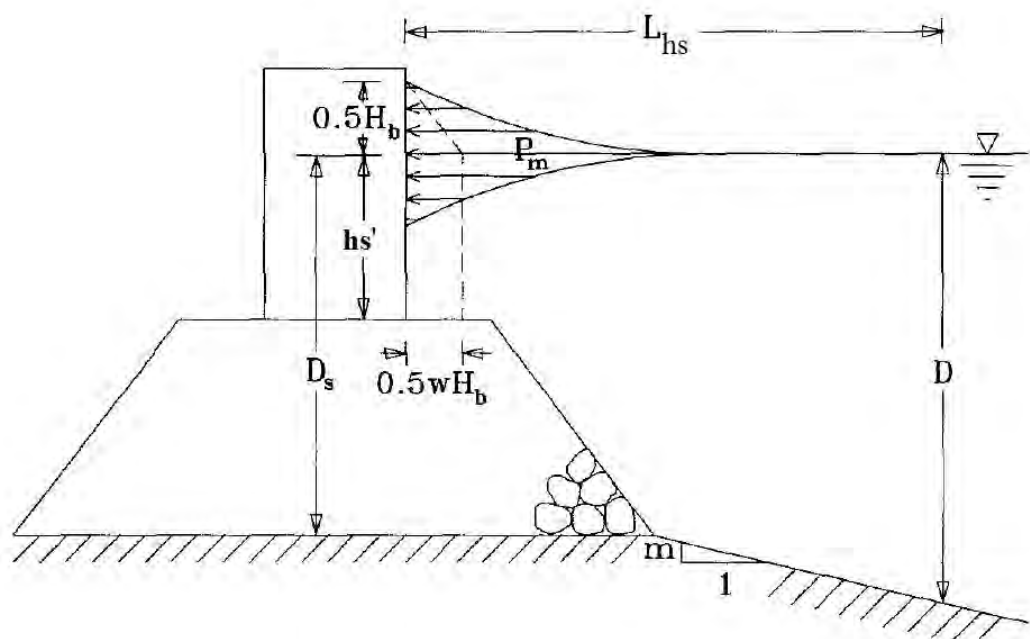
Struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati memiliki *slope* yang bervariasi yaitu $m \geq 0$ dan strukturnya mengalami *overtopping*. Sementara itu, struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati menggunakan *sheetpile* dan tiang pancang (*pile*) sebagai pondasinya sehingga dikategorikan sebagai struktur *rigid*. Dengan demikian, metode perhitungan tekanan dan gaya gelombang untuk struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati yang sesuai adalah metode Minikin.

4.8.5. Variasi Pengecilan Beban Gelombang pada Struktur *Jetty*

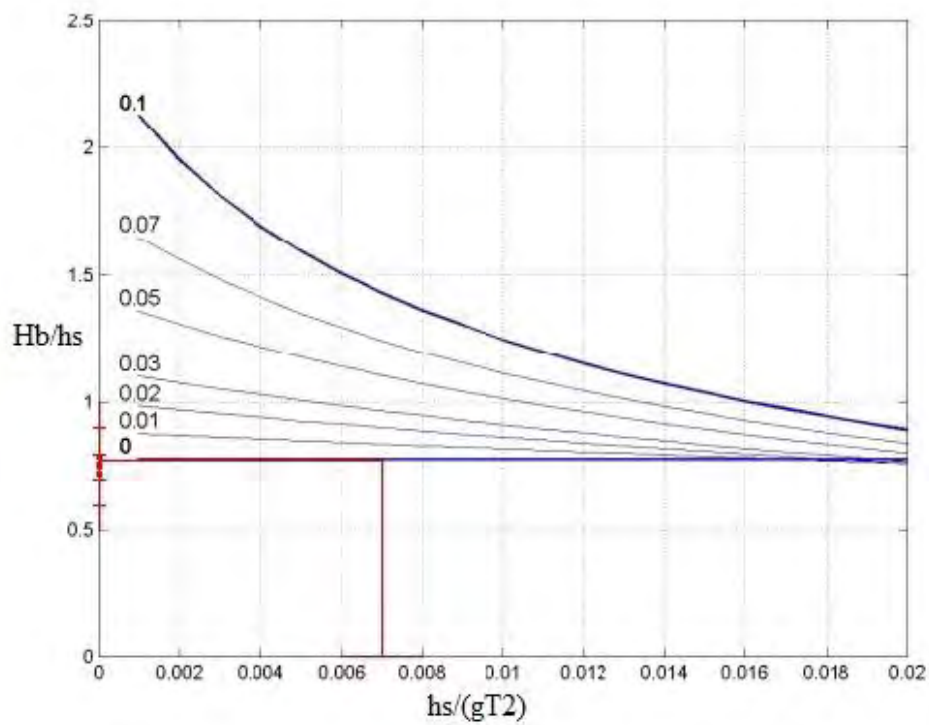
Dari rumus perhitungan beban gelombang metode Minikin yang ditunjukkan pada Persamaan 2.34, diketahui bahwa parameter yang menentukan besar kecilnya beban gelombang yang dihasilkan adalah tinggi gelombang pecah (H_b) dan kedalaman air di struktur yang diukur dari SWL ke dasar dinding vertikal (h_s). Kedua parameter tersebut pun saling berkaitan karena nilai H_b bergantung pada h_s . Dengan

demikian, parameter yang bisa divariasikan dalam hal ini adalah h_s . Semakin kecil h_s , maka nilai H_b juga semakin kecil sehingga beban gelombang yang dihasilkan juga semakin kecil.

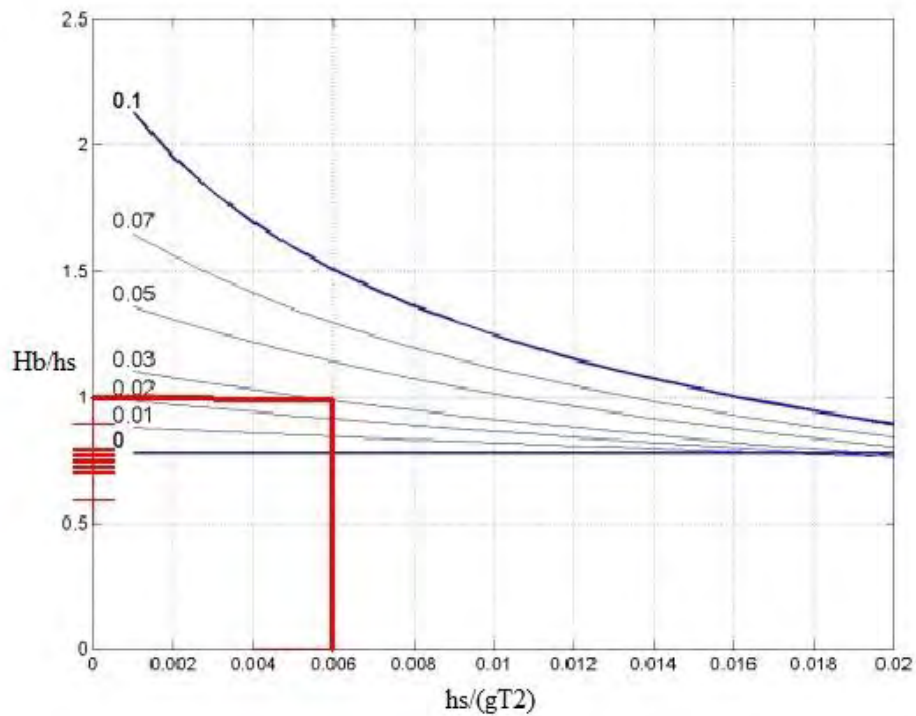
Untuk melakukan variasi h_s , usaha yang bisa dilakukan adalah dengan menambahkan struktur *rubble mound* di bawah dinding vertikal struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati. Distribusi beban gelombang pada struktur yang telah diberi struktur *rubble mound* ditunjukkan oleh Gambar 4.29. Pada gambar tersebut, D_s adalah tinggi struktur *rubble mound. Sementara itu, perhitungan beban gelombang metode Minikin dengan menggunakan variasi D_s ditunjukkan pada Tabel 4.21. Pada perhitungan tersebut, peneliti melakukan 3 variasi D_s yaitu $D_s = 1/4 h_s$, $D_s = 2/4 h_s$, dan $D_s = 3/4 h_s$, di mana h_s adalah kedalaman dinding vertikal *jetty* sebelum memiliki struktur *rubble mound* dan h_s' adalah kedalaman dinding vertikal *jetty* setelah memiliki struktur *rubble mound*. Grafik tinggi gelombang pecah struktur modifikasi *rubble mound* untuk masing-masing segmen *jetty* ditunjukkan oleh Gambar 4.30 – 4.33. Sementara itu, perbandingan hasil perhitungan beban gelombang untuk struktur dinding vertikal dan struktur modifikasi *rubble mound* selanjutnya ditunjukkan oleh Tabel 4.21 – 4.26. Dari tabel tersebut, diketahui bahwa beban gelombang semakin berkurang seiring dengan bertambahnya nilai D_s .*



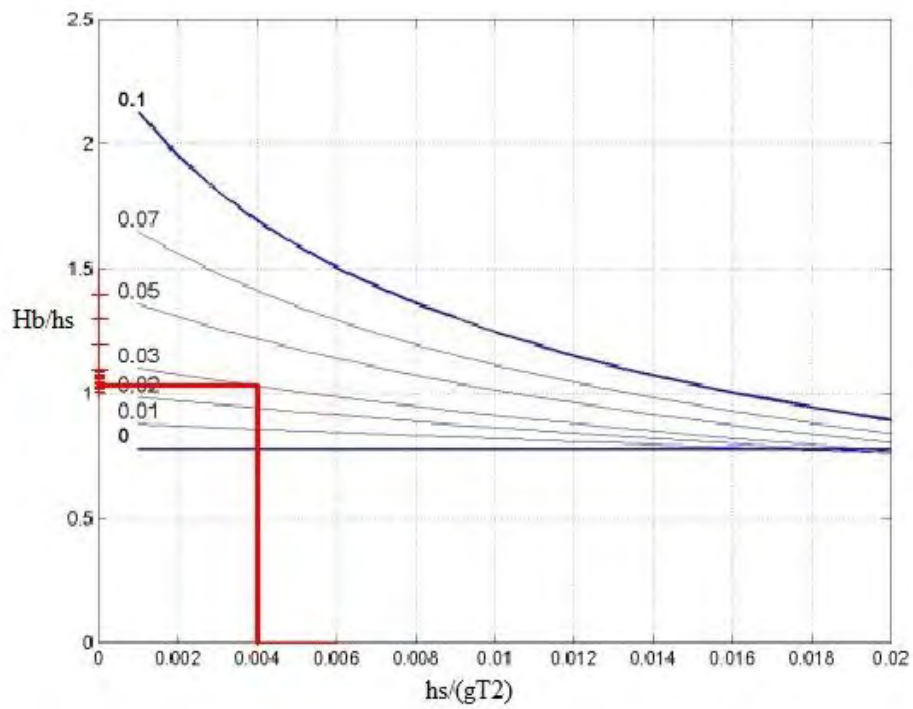
Gambar 4.29. Distribusi Beban Gelombang pada Struktur *Rubble Mound*



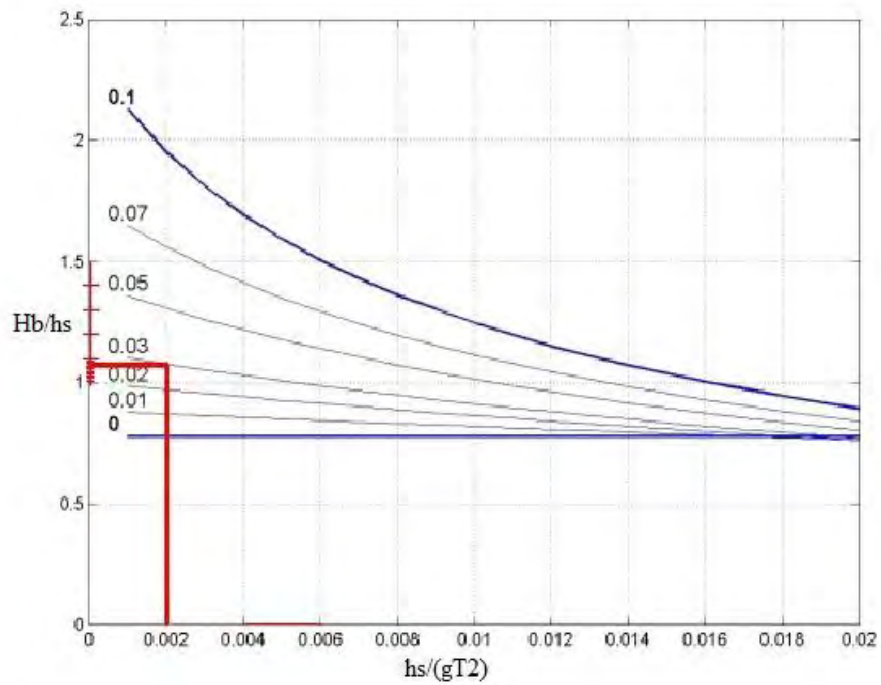
Gambar 4.30. Grafik Hubungan h_s/gT^2 dan H_b/h_s Struktur Modifikasi Jetty Rubble Mound Segmen A untuk Semua Variasi D_s



Gambar 4.31. Grafik Hubungan h_s/gT^2 dan H_b/h_s Struktur Modifikasi Jetty Rubble Mound Segmen B dan C untuk $D_s = 1/4 h_s$



Gambar 4.32. Grafik Hubungan h_s/gT^2 dan H_b/h_s Struktur Modifikasi Jetty
Rubble Mound Segmen B dan C untuk $D_s = 2/4 h_s$



Gambar 4.33. Grafik Hubungan h_s/gT^2 dan H_b/h_s Struktur Modifikasi Jetty
Rubble Mound Segmen B dan C untuk $D_s = 3/4 h_s$

Tabel 4.21. Perbandingan Hasil Perhitungan Tekanan Gelombang Segmen A

Tipe Struktur	Variasi Ds	hs	Pm (kN/m)	Ph (kN/m)	P _{Total} (kN/m)
Dinding Vertikal	-	3,43	0,452	0,048	0,500
Dinding Vertikal + <i>Rubble Mound</i>	Ds = 1/4 hs	2,57	0,292	0,036	0,328
Dinding Vertikal + <i>Rubble Mound</i>	Ds = 2/4 hs	1,72	0,158	0,024	0,182
Dinding Vertikal + <i>Rubble Mound</i>	Ds = 3/4 hs	0,86	0,054	0,012	0,066

Tabel 4.22. Perbandingan Hasil Perhitungan Tekanan Gelombang Segmen B

Tipe Struktur	Variasi Ds	hs	Pm (kN/m)	Ph (kN/m)	P _{Total} (kN/m)
Dinding Vertikal	-	3,93	0,535	0,058	0,593
Dinding Vertikal + <i>Rubble Mound</i>	Ds = 1/4 hs	2,95	0,345	0,044	0,390
Dinding Vertikal + <i>Rubble Mound</i>	Ds = 2/4 hs	1,97	0,181	0,030	0,211
Dinding Vertikal + <i>Rubble Mound</i>	Ds = 3/4 hs	0,98	0,059	0,015	0,074

Tabel 4.23. Perbandingan Hasil Perhitungan Tekanan Gelombang Segmen C

Tipe Struktur	Variasi Ds	hs	Pm (kN/m)	Ph (kN/m)	P _{Total} (kN/m)
Dinding Vertikal	-	4,43	0,656	0,066	0,722
Dinding Vertikal + <i>Rubble Mound</i>	Ds = 1/4 hs	3,32	0,423	0,050	0,473
Dinding Vertikal + <i>Rubble Mound</i>	Ds = 2/4 hs	2,22	0,220	0,034	0,253
Dinding Vertikal + <i>Rubble Mound</i>	Ds = 3/4 hs	1,11	0,072	0,017	0,089

Tabel 4.24. Perbandingan Hasil Perhitungan Gaya Gelombang Segmen A

Tipe Struktur	Variasi Ds	Rm (kN/m)	Rs (kN/m)	Rt (kN/m)
Dinding Vertikal	-	0,398	0,113	0,512
Dinding Vertikal + <i>Rubble Mound</i>	Ds = 1/4 hs	0,193	0,064	0,256
Dinding Vertikal + <i>Rubble Mound</i>	Ds = 2/4 hs	0,070	0,028	0,098
Dinding Vertikal + <i>Rubble Mound</i>	Ds = 3/4 hs	0,012	0,007	0,019

Tabel 4.25. Perbandingan Hasil Perhitungan Gaya Gelombang Segmen B

Tipe Struktur	Variasi Ds	Rm (kN/m)	Rs (kN/m)	Rt (kN/m)
Dinding Vertikal	-	0,666	0,169	0,835
Dinding Vertikal + <i>Rubble Mound</i>	Ds = 1/4 hs	0,339	0,098	0,438
Dinding Vertikal + <i>Rubble Mound</i>	Ds = 2/4 hs	0,122	0,045	0,167
Dinding Vertikal + <i>Rubble Mound</i>	Ds = 3/4 hs	0,021	0,011	0,032

Tabel 4.26. Perbandingan Hasil Perhitungan Gaya Gelombang Segmen C

Tipe Struktur	Variasi Ds	Rm (kN/m)	Rs (kN/m)	Rt (kN/m)
Dinding Vertikal	-	0,920	0,214	1,135
Dinding Vertikal + <i>Rubble Mound</i>	Ds = 1/4 hs	0,468	0,125	0,593
Dinding Vertikal + <i>Rubble Mound</i>	Ds = 2/4 hs	0,167	0,057	0,224
Dinding Vertikal + <i>Rubble Mound</i>	Ds = 3/4 hs	0,029	0,015	0,043

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Gelombang laut dalam di lokasi pembangunan struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati memiliki tinggi 2,09 meter dengan periode 7,03 sekon dan mulai pecah pada kedalaman antara 2,1 meter hingga 3,7 meter. Dengan demikian, struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati dibangun di depan *breaker zone*, sehingga gelombang mulai pecah tepat di depan struktur.
2. Tekanan dan gaya maksimum yang diterima oleh dinding vertikal struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati yang dihitung menggunakan metode Minikin masing-masing adalah 0,656 kN/m² dan 0,92 kN. Sementara itu, tekanan dan gaya maksimum yang diterima oleh dinding vertikal struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati yang dihitung menggunakan metode Goda masing-masing adalah 0,03 kN/m² dan 0,188 kN. Dengan demikian, gaya dan tekanan gelombang yang dihitung menggunakan metode Minikin memiliki hasil yang lebih besar dibandingkan metode Goda. Kedua metode ini menunjukkan bahwa segmen *jetty* yang menerima beban gelombang paling besar adalah segmen C.
3. Struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati memiliki *slope* yang bervariasi yaitu $m \geq 0$ dan strukturnya mengalami *overtopping*. Selain itu, dinding vertikal struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati berupa *sheetpile* yang ditopang oleh tiang pancang (*pile*) sehingga dikategorikan sebagai struktur rigid. Kondisi ini sesuai dengan rekomendasi penggunaan perhitungan beban gelombang metode Minikin. Karakteristik gelombang yang mulai pecah tepat di depan struktur juga sesuai dengan asumsi Minikin. Dengan demikian, metode perhitungan beban gelombang yang paling sesuai untuk lokasi pembangunan struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati adalah metode Minikin.

5.2. Saran

Beberapa hal yang dapat dijadikan saran yang sifatnya membangun penelitian selanjutnya diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Perlu adanya analisa beban gelombang dengan menggunakan eksperimen skala kecil agar diperoleh perbandingan yang akurat antara perhitungan teoritis dan hasil percobaan.
2. Perlu adanya analisa rencana anggaran biaya dan analisa material yang sesuai agar *jetty* PLTGU Grati kuat menahan beban gelombang.

(LAMPIRAN A)

PERHITUNGAN REFRAKSI

Arah Gelombang Dominan 90°

Pias 1

α_o	Ho (m)	T (s)	Lo (m)	Co (m/s)	d (m)	d/Lo	d/L	L (m)	α	Kr	Ks	H'o(m)
58	2,09	7,31	83,36	11,40	5,93	0,07	0,11	51,62	31,68	0,79	0,97	1,65
32	1,65	5,75	51,62	8,97	5,43	0,11	0,15	37,37	22,56	1,01	0,93	1,67
28	1,67	4,89	37,37	7,64	4,93	0,13	0,17	29,30	21,60	0,97	0,92	1,63
10	1,63	4,33	29,30	6,76	4,43	0,15	0,18	24,06	8,20	1,00	0,91	1,63
9	1,63	3,93	24,06	6,13	3,93	0,16	0,19	20,24	7,56	1,00	0,91	1,62
76	1,62	3,60	20,24	5,62	3,43	0,17	0,20	17,22	55,64	0,65	0,91	1,06

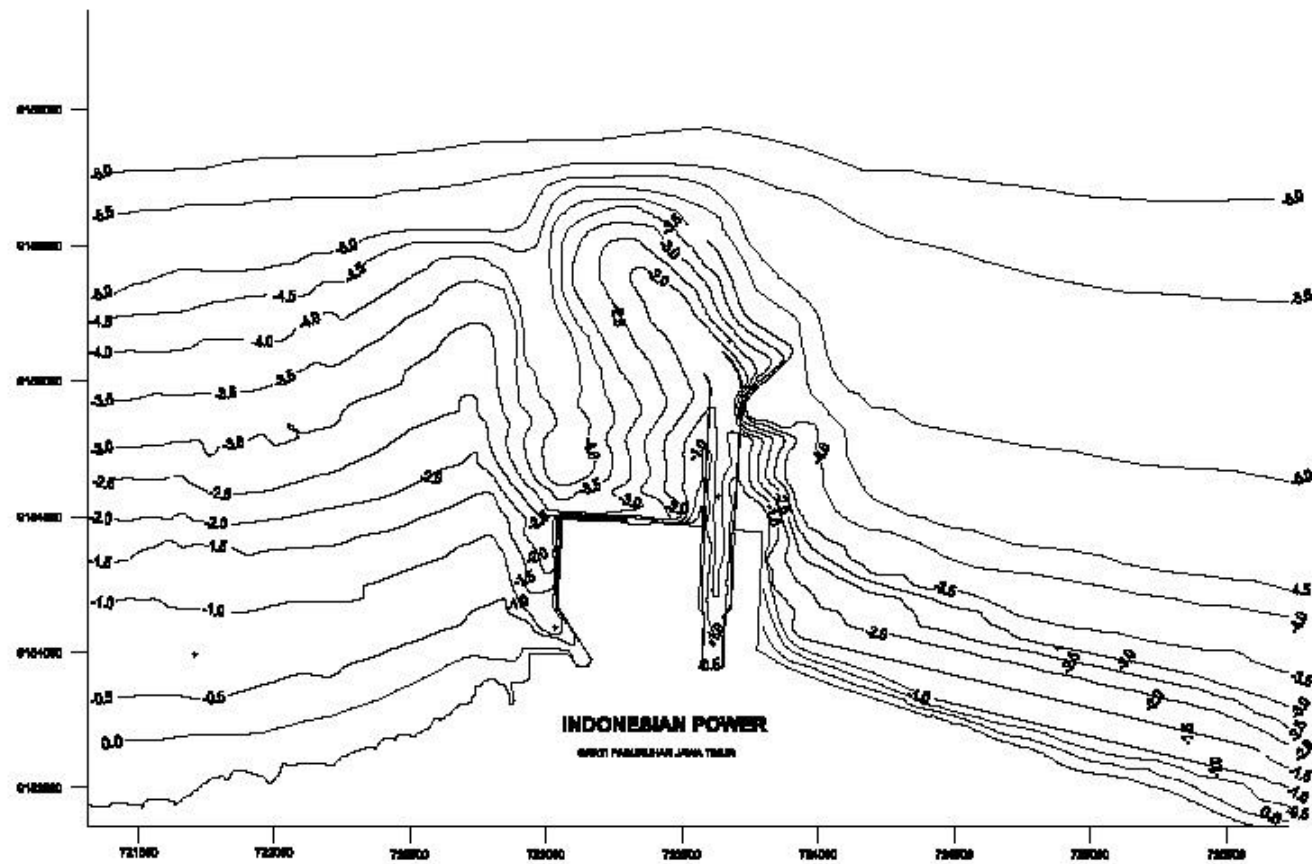
Pias 2

α_o	Ho (m)	T (s)	Lo (m)	Co (m/s)	d (m)	d/Lo	d/L	L (m)	α	Kr	Ks	H'o(m)
38	2,09	7,31	83,36	11,40	5,93	0,07	0,11	51,62	22,41	0,92	0,97	1,93
26	1,93	5,75	51,62	8,97	5,43	0,11	0,15	37,37	18,50	1,00	0,93	1,93
18	1,93	4,89	37,37	7,64	4,93	0,13	0,17	29,30	14,02	0,99	0,92	1,91
15	1,91	4,33	29,30	6,76	4,43	0,15	0,18	24,06	12,27	0,99	0,91	1,90
12	1,90	3,93	24,06	6,13	3,93	0,16	0,19	20,24	10,08	1,00	0,91	1,90

Pias 3

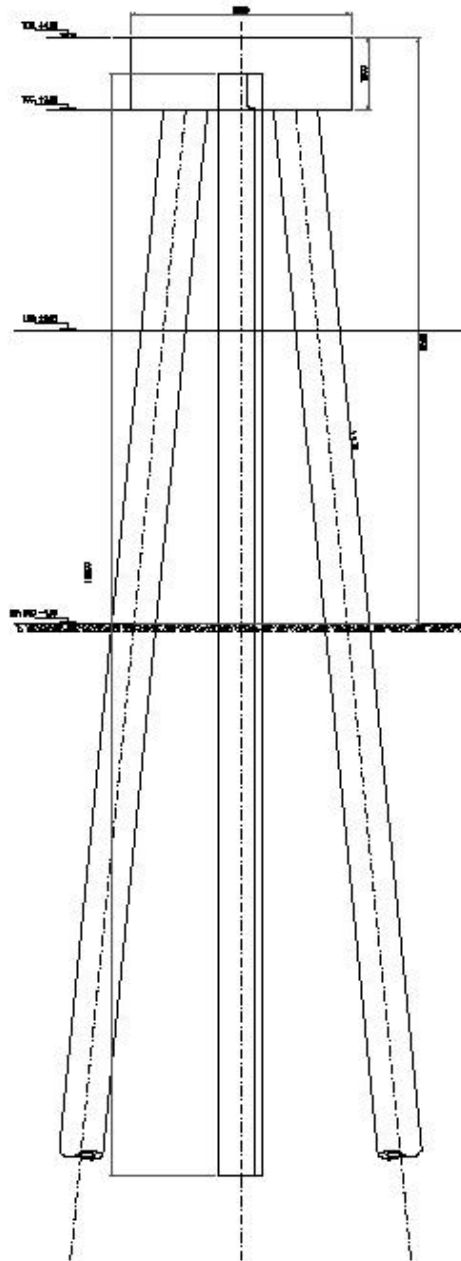
α_o	Ho (m)	T (s)	Lo (m)	Co (m/s)	d (m)	d/Lo	d/L	L (m)	α	Kr	Ks	H'o(m)
33	2,09	7,31	83,36	11,40	5,93	0,07	0,11	51,62	19,71	0,94	0,97	1,91
21	1,91	5,75	51,62	8,97	5,43	0,11	0,15	37,37	15,04	0,99	0,93	1,76
22	1,76	4,89	37,37	7,64	4,93	0,13	0,17	29,30	17,08	0,98	0,92	1,59
14	1,59	4,33	29,30	6,76	4,43	0,15	0,18	24,06	11,46	0,99	0,92	1,45

(LAMPIRAN B)
DESAIN *LAYOUT* STRUKTUR PERPANJANGAN *JETTY* PLTGU GRATI



(LAMPIRAN C)

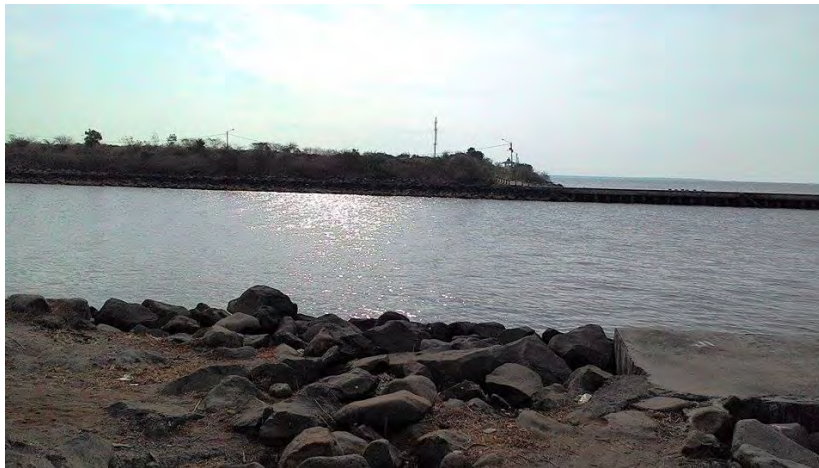
**DESAIN KONSTRUKSI STRUKTUR
PERPANJANGAN *JETTY* PLTGU GRATI**



(LAMPIRAN D)

**DOKUMENTASI *JETTY* EKSISTING PLTGU
GRATI**





BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Gelombang laut dalam di lokasi pembangunan struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati memiliki tinggi 2,09 meter dengan periode 7,03 sekon dan mulai pecah pada kedalaman antara 2,1 meter hingga 3,7 meter. Dengan demikian, struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati dibangun di depan *breaker zone*, sehingga gelombang mulai pecah tepat di depan struktur.
2. Tekanan dan gaya maksimum yang diterima oleh dinding vertikal struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati yang dihitung menggunakan metode Minikin masing-masing adalah 0,656 kN/m² dan 0,92 kN. Sementara itu, tekanan dan gaya maksimum yang diterima oleh dinding vertikal struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati yang dihitung menggunakan metode Goda masing-masing adalah 0,03 kN/m² dan 0,188 kN. Dengan demikian, gaya dan tekanan gelombang yang dihitung menggunakan metode Minikin memiliki hasil yang lebih besar dibandingkan metode Goda. Kedua metode ini menunjukkan bahwa segmen *jetty* yang menerima beban gelombang paling besar adalah segmen C.
3. Struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati memiliki *slope* yang bervariasi yaitu $m \geq 0$ dan strukturnya mengalami *overtopping*. Selain itu, dinding vertikal struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati berupa *sheetpile* yang ditopang oleh tiang pancang (*pile*) sehingga dikategorikan sebagai struktur rigid. Kondisi ini sesuai dengan rekomendasi penggunaan perhitungan beban gelombang metode Minikin. Karakteristik gelombang yang mulai pecah tepat di depan struktur juga sesuai dengan asumsi Minikin. Dengan demikian, metode perhitungan beban gelombang yang paling sesuai untuk lokasi pembangunan struktur perpanjangan *jetty* PLTGU Grati adalah metode Minikin.

5.2. Saran

Beberapa hal yang dapat dijadikan saran yang sifatnya membangun penelitian selanjutnya diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Perlu adanya analisa beban gelombang dengan menggunakan eksperimen skala kecil agar diperoleh perbandingan yang akurat antara perhitungan teoritis dan hasil percobaan.
2. Perlu adanya analisa rencana anggaran biaya dan analisa material yang sesuai agar *jetty* PLTGU Grati kuat menahan beban gelombang.

DAFTAR PUSTAKA

- Airy, G. B. 1845. *On Tides and Waves*. Encyclopedia Metropolitana.
- Allsop, N. W. H., dkk. 1996. *Wave Forces on Vertical and Composite Breakwaters*. HR Wallingford. England.
- Allsop, N. W. H., dan Calabrese, M. 1999. *Forces on Vertical Breakwaters: Effects of Oblique or Short-Crested Waves*. HR Wallingford. England.
- Atikasari, Titis. J. 2015. *Studi Modifikasi Jetty Sebagai Alternatif Penanganan Sedimentasi di Kanal Water Intake PLTGU Grati*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Bruining, J. W. 1994. *Wave Forces on Vertical Breakwaters: Reliability of Design Formulae*. MSC Thesis, Report H1903. Delft Hydraulics / Delft University of Technology. Netherlands.
- Bullock, G., dkk. 2004. *Characteristic and Design Implications of Breaking Wave Impacts*. Coastal Engineering Conference.
- Damerianne, H. A., Suntoyo, M. Zikra. 2013. *Analisa Laju Sedimentasi di Kanal Cooling Intake PLTGU Gati (PT. Indonesia Power Unit Bisnis Pembangunan Perak-Grati)*. Jurnal Seminar Teknologi dan Aplikasi Teknologi Kelautan (Senta) 2013. Surabaya.
- Die Küste. 2007. *Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual*. Hamburg. Germany.
- Djarmiko, E.B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Domzig, H. 1955. *Wellendruck und Druckerzeugender Seegang*. Mitteilungen der Hannoverschen Versuchsanstalt für Grundbau und Wasserbau. Hannover. Germany.
- CERC. 1984. *Shore Protect Manual Volume I*. Washington: US Army Coastal Engineering Research Center.
- CERC. 1984. *Shore Protect Manual Volume II*. Washington: US Army Coastal Engineering Research Center.
- Chu, Yen-Hsi. 1989. *Breaking Wave Forces on Vertical Walls*. J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Engineering 115(1): 58-65.

- Galvin, C.J., Jr., *Breaker Travel and Choice of Design Wave Height*, Journal of the Waterways and Harbors Division, WW2, No. 6569, 1969. Pp. 175-200 (also Reprint 4-70, Coastal Engineering Research Center, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., NTIS 712 652).
- Goda, Y., dan Abe, T. 1968. *Apparent Coefficient of Partial Reflection on Finite Amplitude Waves*. Port and Harbor Research Institute. Japan.
- Goda, Y. 1970. *A Synthesis of Breaker Indices*. Transactions of the Japanese Society of Civil Engineers, Vol. 2. Pt. 2.
- Goda, Y. 1974. *New Wave Pressure Formulae for Composite Breakwaters*. Proceeding 14th ICCE. Copenhagen, ASCE, New York.
- Goda, Y. 1985. *Random Seas and Design of Maritime Structures*. University of Tokyo Press. Tokyo. Japan.
- Kirkgoz, M. S. 1982. *Shock Pressure of Breaking Waves on Vertical Walls*. J. Wtrwy., Port, Coast, and Oc. Div., ASCE. 108 (1).
- Kisacik, Dogan. dkk. *Comparative Study on Breaking Wave Forces on Vertical Walls with Cantilever Surfaces*. Department of Civil Engineering. Ghent University. Belgium.
- Longuet-Higgins, M. S., dan Stewart, R. W. 1963. *A Note on Wave Setup*. Journal of Marine Research, Vol. 21(1).
- Mani, J. S. 2012. *Coastal Hydrodynamics*. PHI Learning. India.
- Minikin, R. R. 1963. *Winds, Waves and Maritime Structures: Studies in Harbor Making and in the Protection of Coasts*. 2nd rev. ed. Griffin. London.
- Nagai, T., dkk. 1982. *Decrease of Wave Overtopping Amount Due to Seawalls of Low Crest Types*. Rept. Of PHRI, Vol. 21, No.2. Japan.
- OCDI. 2002. *The Overseas Coastal Area Development Intitute of Japan*. Daikousha Printing Co. Ltd. Japan.
- Pratikto, W. dkk. 2014. *Struktur Pelindung Pantai*. PT. Mediatama Saptakarya. Jakarta.
- Priyantoro, D., Aniek Masrevaniah, Seto Sugianto. 2012. *Sedimentation Evaluation at Water Intake Gate of Grati PLTGU Jetty Blockade*. International Journal of Emerging Technology and Advanced.

- Rouville, M.A., dkk. 1938. *Etudes Internationales Sur Les Efforts Dus Aux Lames*. Vol. 108. Annales des Ponts et Chaussees, Paris.
- Saville, T. Jr. 1962. *An Approximation of the Wave Runup Frequency Distribution*. Proceeding of the Eighth Conference on Coastal Engineering. ASCE. Mexico City. Council on Wave Research.
- Simm, J. D. 1991. Manual on the Use of Rock in Coastal and Shoreline Engineering. CIRIA/CUR. Special Publication 83. CIRIA. London.
- Tawas, H. J., M. I. Jasin, J.D. Mamoto. 2013. *Perencanaan Jetty di Muara Sungai Ranoyapo Amurang*. Jurnal Sipil Statik Vol. 1 No.6. Universitas Sam Ratulangi.
- Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Beta Offset. Yogyakarta.
- Weggel, J. R. 1972. *Maximum Breaker Height. Journal of Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division*. Vol. 98. WW4.

BIODATA PENULIS



Puspa Devita Mahdika Putri dilahirkan di Jember pada tanggal 11 Agustus 1994, merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SDN Kepatihan XVI, Jember pada tahun 2000-2006. Kemudian melanjutkan pendidikan sekolah di SMPN 3 Jember pada tahun 2006-2009 dan SMAN 2 Jember pada tahun 2009-2012. Setelah lulus SMA pada tahun 2012, penulis diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui program mandiri dan terdaftar dengan NRP 4312100015. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan seperti Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Kelautan, OCEANO, dan ITS Media Center. Penulis diberi kesempatan untuk mendapatkan beasiswa pendidikan dari DIKTI selama empat tahun dan American Bureau of Shipping (ABS) pada tahun 2015. Pada tahun 2015 penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di perusahaan inspeksi kapal yaitu PT. MitraArtha Gema Pertiwi, Tanjung Perak, Surabaya. Selama masa studi Strata-1 yang ditempuh selama 4 tahun, penulis tertarik dalam bidang rekayasa pantai dan perancangan struktur bangunan laut sehingga dalam tugas akhir ini mengambil topik analisis beban gelombang, terutama untuk struktur pantai.

Kontak Penulis :

Email : puspa.devitam@gmail.com

Telepon : 082231152807